NO
PAPER
RIGHTS

REIMPRESSION
INTERDITE

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

Division of Electrical Engineering
Division de génie électrique

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

1989–1990

Canada

91-06018/

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

1989–1990

Bulletin of the Division of Electrical Engineering

NRCC Ottawa May 1990
Volume 3, Number 4

Copyright 1990 by National Research Council of Canada

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this bulletin, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Additional copies are available free of charge from:

Editorial Office, Room 301
Division of Electrical Engineering
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario, Canada
K1A 0R6

Table of Contents

Introduction 1

Industrial Liaison Office
- Organization and Activities 3
- Advanced Manufacturing Technologies and Industrial Automation 4
- Public Security Program 5
- Recent Papers 6

Laboratory for Biomedical Engineering
- Objectives 7
- Program Description 7

Medical Engineering Section
- Autonomous Vehicle Development for Health Care Applications 10
- Orthopedics 11
- Effects of Non-ionizing Radiation 11
- Recent Papers 14

Rehabilitation Technology Unit
- Production Engineering of Aids for the Handicapped 16
- Recent Papers 17

Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering
- Objectives 19
- Program Description 19

Power Engineering Section
- Precision Electrical Measurements 21
- Electrical Insulation 22
- Electromagnetic Interference/ Electromagnetic Compatibility 24
- Recent Papers 25

Laboratory for Intelligent Systems
- Objectives 29
- Program Description 30

Computing Technology Section
- Introduction 32
- Multiprocessor Architectures for Realtime Control 32
- Sensor-based Robotics 33
- Mobile Robot for Health Care 37
- Recent Papers 41

Information Technology Section
- Introduction 43
- Knowledge-based Systems 43
- Intelligent Advisor Systems 46
- Engine Health Monitoring 48
- Realtime Expert Systems 50
- Recent Papers 52

Photonics and Sensors Section
- Introduction 54
- 3-D Vision 54
- Optical Data Processing and Sensing 61
- Recent Papers 64

Robotics and Automation Section
- Introduction 66
- Robotics 66
- Industrial Automation 66
- Expert Systems 71
- Recent Papers 73

Appendix
- Organizational Chart 75
- Staff, April 1, 1989, to March 31, 1990 75

Author Index 80

Division of Electrical Engineering

Introduction

This is likely to be the final issue of the *Bulletin of the Division of Electrical Engineering*. As I write, plans are being prepared for a significant reorganization of the National Research Council. One of the outcomes of this plan is expected to be the disappearance of the Division of Electrical Engineering as an entity and the dispersal of its activities among several newly-created Institutes and programs.

The first *Bulletin of the Radio and Electrical Engineering Division* (REED) of NRC was published by the REED Document Office in May 1951. It provided a synopsis of the programs of the Division, which at that time were the application of radar techniques to problems in marine navigation and aerial surveying, basic research in electronics and radiophysics, development of apparatus for the generation, radiation, and reception of microwaves, and work on specific problems in the field of electrical engineering, including applied electronics. The aim of the *Bulletin* was to highlight new projects and novel features of the R&D work within the Division, especially those of interest to the Canadian electrical and radio industry. Several projects were briefly described and new divisional projects announced. This first *Bulletin* was eight pages long (English only). Seven hundred copies were printed and about 170 copies distributed to Canadian industries.

The *Bulletin* was a quarterly report from May 1951 to March 1972. Issues varied in length from 4 to 92 pages and topics ranged from "Rhombic Antenna for UHF Television" through "The Touch-Sensitive Electronic Organ," and "Coronary Arteriography" to "Computer Production of Animated Graphical Models". In the late 1950s the list of divisional publications was expanded to include patents, lectures, and publications in journals. There is a gap in publication from March 1972 to October 1975, although in 1967 the Division had begun publication of a monthly bulletin, which consisted of several typewritten pages of research reports, and the 1973 and 1974 monthly bulletins were much longer than those issued previously. In 1975, the first *Bulletin of the Division of Electrical Engineering* appeared. Since that time the Bulletin has been published annually, with a report on each project in the Division in each issue. From the mid-1960s, occasional articles were published in French, and the 1976 *Bulletin* was the first bilingual issue. The press run grew to 1000–1200 copies, distributed, mainly within Canada, to the industrial and university communities. A glance through back issues gives a historical review of R&D in the field of electrical engineering at NRC. Topics appear and are laid aside for new topics. Scientists are listed as junior co-workers and become senior authors. Methods of publication have changed — from a typewriter in 1951 to the current desktop publishing system. But the Bulletin has always provided a clear, concise, informative record of the research of the Division.

The disappearance of the name — Electrical Engineering — and the disappearance of this *Bulletin* does not mean that the research activities presently underway and reported on in this issue will be terminated. The changes in the face of technology since DEE was created, and the need to manage better in the face of shrinking resources, have led to the reluctant acceptance of the fact that alternative organizational arrangements are probably more effective than the one which presently exists. Much of the Power Engineering work, for example, relates more closely to the Basic Measurement Standards work in the Division of Physics than to the research in Advanced Information Technology which has come to dominate DEE's program. The reorganization will take account of these affinities.

The programs reported on in this issue are appropriate as a final snapshot of the Division of Electrical Engineering. They cover a range of objectives and a spectrum of technologies. They are distributed geographically across Canada and impact on both the social and technological fabric of the nation. They exhibit excellence in concept as well as in execution. The contributors to the first *Bulletin* — the pioneers of the Division — would be proud.

S.A. Mayman
Director General
Division of Electrical Engineering
May 1990

Industrial Liaison Office

Industrial Liaison Officer — A.M. Hlady

Organization and Activities

A.M. Hlady, G. Neal, D.H. O'Hara

Research and development in collaboration with and in support of Canadian industry continues to be a principal "raison d'être" for the Division of Electrical Engineering (DEE). As a means of encouraging and facilitating interactions with industry, the Division maintains an Industrial Liaison Office (ILO) which serves as a convenient point of contact for potential clients and partners. Exploratory discussions arranged by the ILO help outside organizations determine the extent to which DEE laboratories can be of assistance — whether by doing work for, collaborating with, or transferring technology to them. If DEE capabilities and technology seem relevant to the case, the ILO then works with the prospective client/partner and NRC laboratory managers to define a suitable working relationship. Although the Office deals primarily with the industrial sector, it is also involved in arranging collaborative agreements and Memorandums of Understanding with university groups and projects with and for government departments.

There are many possible ways in which DEE can work with companies and other outside organizations. For example, in projects in which technology is being transferred from a DEE laboratory or in joint R&D projects in which both parties are working cooperatively towards a common goal, a staff member from the partner organization may spend time at NRC working alongside NRC researchers and sharing NRC facilities. Although our capacity to accommodate such guest workers is limited, this has proven to be an effective way of working together. Other possibilities for DEE involvement range from cost-shared collaboration to full cost recovery by NRC, depending on the nature of the project.

One of the roles of the ILO is to help arrange a "deal" between a private sector organization and a DEE laboratory after initial discussions have shown that there could be benefits from a working relationship. Starting with a general technical description outlining the scope of work or client requirements, the ILO and the prospective client or partner select an overall approach that suits the circumstances. In arriving at a working arrangement with the outside party, the ILO confers not only with NRC laboratory colleagues but also with NRC's marketing, legal, financial, and administrative experts. After both parties are satisfied with the terms and conditions to be applied to the project, the arrangement is documented by means of an agreement that both parties sign. This document ensures a common understanding of the role and contribution of each party and of issues such as the ownership and distribution rights associated with any intellectual property resulting from the project. In the past year, NRC has made progress in streamlining this process through the creation of "standard" agreements for service work and for collaboration.

In order to obtain maximum leverage on NRC's research effort, current emphasis is on cooperative multiparty projects in which several organizations put resources into R&D activities aimed at meeting needs common to a number of companies. Results are shared among project participants and sponsors. As a recent example of this approach, two of the four multiyear R&D projects approved in the past year by the PRECARN (PRECompetitive Applied Research Network) consortium include significant DEE involvement in cooperation with industry and university researchers. The Industrial Liaison Office, working closely with NRC's new Marketing Services group, will be looking for more opportunities of this type.

One of the key strengths that NRC can offer to its clients and partners is its broad diversity of resources. Using that strength to advantage requires good internal communications. The ILO forms part of an informal network that includes the ILOs in other NRC laboratory divisions, Marketing Services officers, and Industrial Research Assistance Program (IRAP) personnel. These contacts within the organization help ensure that the most appropriate resources are applied to the problem at hand. At another level, the ILOs collectively work as a group with Marketing to improve service to clients by suggesting updates and changes to NRC's operating policies and procedures

where experience has uncovered obstacles or difficulties.

Another function of the Industrial Liaison Office is to enhance outside awareness of DEE and what the Division has to offer — scientific and technical expertise, technology, laboratory facilities, and linkages to complementary capabilities in other parts of NRC and elsewhere. Active promotion of Divisional capabilities and contact with prospective clients on a one-on-one basis is a very labor-intensive activity. With limited resources, the ILO's primary approach continues to be one of taking advantage of other available NRC resources. As one example, all DEE researchers are encouraged to make industrial contacts through access to an ILO fund which covers their incremental travel expenses associated with visiting companies and exploring potential interactions. Another way of reaching companies across the country is through the cooperation of the IRAP Field Network, which has over 200 representatives located throughout Canada in regional technology centres and provincial research organizations. The ILO is continually looking for more structured ways in which these field officers can feed industry needs and potential opportunities back to the Division.

As part of its role in identifying and responding to industry needs, the ILO is the entry point into the Division for technical enquiries and R&D proposals from industry. In these cases, it is a matter of locating relevant expertise in the Division or directing the enquiry to an appropriate alternative source in order to provide a response that is specific enough to be of value to the company. In reviewing industrial R&D proposals on behalf of federal funding agencies, including NRC/IRAP, laboratory staff assess the technical aspects with respect to criteria such as the degree of technical risk and innovation and suitability of the proposed technical direction. In some cases, reviewers are able to provide constructive suggestions regarding a more promising technical approach or other improvements.

During the past year, the ILO has become a Divisional focal point for intellectual property created in DEE laboratories — inventions, software, and technical know-how. In its policies and procedures, NRC has increasingly been stressing the value of this material as a corporate asset. Within the Division, the Office provides recommendations to management regarding the protection of intellectual property and strategies for its commercialization. It then follows through in arranging for patenting and in negotiating licences.

The Industrial Liaison Office also assists Divisional management in other areas such as revenue forecasting and program planning, bringing into the process a perspective based to some extent on client needs and priorities. A specific example in 1989–90 was the drafting of a divisional business plan for submission to senior management.

In addition to its general roles outlined above, the Office includes two specialized components: the Senior Advisor on Advanced Manufacturing Technologies and Industrial Automation and the Manager of the NRC Public Security Program.

Advanced Manufacturing Technologies and Industrial Automation

J. Scrimgeour

CAN-MATE

A substantial flow of advice on advanced manufacturing technologies, and on the management of these technologies, continues to be provided to the Canadian manufacturing industry. The principal mechanism for fulfilling this function is by regular publication of a World Watch on computer-integrated manufacturing. Reference papers are selected monthly from the literature via a world abstracting service which scans more than 4000 journals. Key references of particular value to Canadian industry are forwarded to the Canadian Manufacturing Technology Exchange (CAN-MATE). The CAN-MATE publication, *Technology Source*, published 10 times annually, is received by approximately 6100 companies. Many of the references provided contain the experience of world leaders in the development, application, and management of advanced manufacturing technologies which are of strategic importance to the future of Canada. Manufacturers wishing to obtain full copies of the publications cited are encouraged to do so via their nearest technical library or the Canada Institute for Scientific and Technical Information (CISTI) which is part of NRC. This collaboration between the Division of Electrical Engineering, CAN-MATE, the CMA, and CISTI is an example of an information system which is helping Canadian manufacturers apply advanced technologies to both design and production across all manufacturing industry sectors in order to improve their capability and competitiveness in both domestic and international markets.

Assistance was also provided in 1989 to the Natural Sciences and Engineering Research

Council (NSERC) in the preparation of a new mission statement for *Manufacturing Systems*, which is one of the 10 technology areas supported under the NSERC Strategic Grants Program, and also to Industry, Science and Technology Canada (ISTC) in structuring the evaluation framework for its Advanced Manufacturing Technology Application Program (AMTAP).

NRC Associate Committee on Artificial Intelligence

The NRC Associate Committee on Artificial Intelligence (ACAI), established in 1987, acts as a focal point and forum in Canada for national issues, planning, and concerns related to artificial intelligence technology. Secretariat services for the NRC-ACAI are provided by the Division of Electrical Engineering.

In 1989 the Committee completed publication of a substantive report on the Social Context of Artificial Intelligence. The overall balance and thrust of the report, presented in the form of a guideline and discussion paper, is that while many benefits will be obtained from the applications of AI technology, it will be necessary at the same time to examine and understand the social considerations attached to these applications. The report focuses on adjustments that will be needed as society adapts to the growing influence of artificial intelligence.

During 1989–90, the Committee also

- provided advice to policy makers within the federal government concerning programs for the support of AI research and development
- continued publication of a World Watch on developments in AI, selected from published references, in conjunction with the quarterly publication *Canadian Artificial Intelligence*
- considered mechanisms for encouraging closer collaboration between current and potential AI users and the AI research community in both university and government laboratories

International Activities

As a contribution to the establishment of international standards in industrial automation, support is being given to Technical Committee 184 of the International Standards Organization (ISO) in developing a glossary of terms in industrial automation. The NRC Division of Mechanical Engineering has contributed substantially to this activity, which has an international co-convenor in the DEE as well as a second co-convenor in France. A subset of terms and definitions, consisting of those previously approved by ISO with terms and definitions available in both English and French, has been extracted from the more than 8000 terms and definitions read into the database by optical character recognition.

At the invitation of the Manufacturing Technology Committee of the International Federation of Automatic Control (IFAC), a proposal has been prepared whereby NRC will act as the sponsor in 1992 for the IFAC Symposium on Information and Control Problems in Manufacturing (INCOM '92). Previous symposia in this series have been held in Japan, Germany, the United States, the USSR, and other countries.

Public Security Program

J.G. Arnold

The Public Security Program is the focal point of law enforcement equipment and systems research carried out at the National Research Council. The NRC works as a partner with the Canadian Association of Chiefs of Police and the Royal Canadian Mounted Police (RCMP) developing, testing, and evaluating new police and security products and technology with, and for, Canadian industry.

A major objective of the Public Security Program is to coordinate and develop the ongoing research activity in a manner consistent with the priorities of the community, as defined by the Operational Research Committee of the Canadian Association of Chiefs of Police.

Several meaningful steps were taken last year in meeting this objective. A trailer for the Pathfinder project was built to complete the system so that it may be field evaluated in the summer of 1990 in Sault Ste. Marie. The Instrumented Revolver project, which started in DEE, had two pre-production prototypes built for evaluation at the RCMP Training Depot in Regina during 1990. In 1989, the Program also developed an unique Vacuum Fingerprint Chamber which is an improved version of the Fingerprint Cyanoacrylate (Krazy Glue) chambers which have been used for the last decade. It provides fingerprints which are of exceptional quality and easy to photograph (Fig. 1). The RCMP regional identification sections will be evaluating 10 chambers across Canada starting in the summer of 1990.

As reported last year, much effort has been dedicated to the opening of the Canadian Police Research Centre (CPRC). This initiative is

Figure 1. Fingerprint impression developed by NRC vacuum fingerprint chamber.

the next step in the successful Canadian Program of Science and Technology in Support of Law Enforcement. The Centre will provide leadership and focus for a national program of research, development, evaluation, and commercialization in the public safety and law enforcement equipment sector in Canada. The official opening of the CPRC is to take place during Police Week on May 15, 1990, at the NRC.

Recent Papers

Published

Scrimgeour, J. World watch on AI applications and development. Can. Artif. Intell. 22(January): 31–42; 1990.

Scrimgeour, J. Computer integrated manufacturing. CSME Bull. Jan.: 4–11; 1989. NRC 29732.

Scrimgeour, J. Education and flexible automation — an examination of need and the IFAC role. Proceedings of INCOM '89 — 6th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology IFAC, Madrid, Spain. September 26–29, 1989. Pergamon Press. In press. NRC 31515.

Scrimgeour, J. Manufacturing perspective. Plant Computerization, 1(1): 28; 1989. NRC 31516.

Scrimgeour, J. International stability — an information and control systems study of the process. IFAC/SWIIS Workshop on International Conflict Resolution using Systems Engineering, Budapest, Hungary. June 5–8, 1989. In press. NRC 31335.

Scrimgeour, R. World watch on CAD/CAM technologies. CAD/CAM & Robotics, 7(5): 5–6; 1989. NRC 30901.

Scrimgeour, J.H.C., and Vernadat, F. Book review: Advances in CAD/CAM and robotics: NRC contributions. Comput. Ind. 12: 161–169; 1989.

Scrimgeour, J., *et al.* The Social Context of Artificial Intelligence — A Guideline and Discussion Paper. Abridged Version. NRC Associate Committee on Artificial Intelligence, June 1989. NRC 30188. French version, Intelligence artificielle et société — document d'orientation et d'étude. Version abrégée, juin 1989. CNRC 30463.

Scrimgeour, J., *et al.* The Social Context of Artificial Intelligence — A Guideline and Discussion Paper. NRC Associate Committee on Artificial Intelligence, June 1989. NRC 30187. French version, Intelligence artificielle et société — document d'orientation et d'étude, juin 1989. CNRC 30462.

Laboratory for Biomedical Engineering

Head — O.Z. Roy

Objectives

Mandate

- To maintain a center of excellence for the creation, dissemination, and application of biomedical engineering knowledge and techniques in support of life quality and health care, and in collaboration with industry to develop and apply technology which will reduce costs and the need for chronic institutional care.

Strategic Objectives

- To improve the quality of life of physically handicapped, developmentally delayed, and elderly persons through the design, development, evaluation, and application of devices and technology which address problems associated with disability.

- To determine the effects of non-ionizing radiation on the biological system, in order to acquire an understanding of the interactive processes and the biological consequences of such radiation.

- To apply this understanding to the development of health care safety and performance standards and to the development of new therapeutic and diagnostic instrumentation, in cooperation with other Canadian research organizations and industry.

Operational Objectives

- To increase the diagnostic capability and the therapeutic effectiveness of cardiac procedures by developing ultrasound catheter probes capable of distinguishing between atherosclerotic plaque and viable vessel wall.

- To increase the mobility of severely disabled and elderly individuals by developing sensor systems which can be used to augment the control system for electric wheelchairs.

- To improve the healing process of fractured bone by developing new stabilizing systems which will optimize the rate of healing through mechanisms of immobilization which allow for better growth and repair.

- To increase the interaction of the Laboratory with outside clients through the continued development of research, calibration, and prototyping facilities.

- To develop products and provide rehabilitation engineering preproduction and consulting services to industry, consumer groups, marketing agencies, and rehabilitation researchers, specifically products which will improve the quality of life of physically, cognitively, and sensorially handicapped persons.

Program Description

The Canadian health care system encompasses two major sectors — chronic and acute care. The Laboratory for Biomedical Engineering, which is made up of two sections — the Rehabilitation Technology Unit (RTU) located in Toronto and the Medical Engineering (ME) Section located in Ottawa — addresses concerns in each of the sectors.

In the acute care sector, the Laboratory's orthopedic program, over the past six years, has developed and commercialized a number of new implant devices and associated instrumentation. In addition to the orthopedic engineering activity the Laboratory is developing sensitive biological models and measuring techniques; both are essential to the Canadian and international health care industry in establishing safety standards for non-ionizing radiation (ultrasound, electrical currents, etc.) and in developing new diagnostic and therapeutic procedures for the acute care system. The new biological models and measuring techniques are being used in collaborative projects with the Ontario Cancer Clinic, Health and Welfare Canada, Agriculture Canada, and a number of pharmaceutical companies.

In the chronic care sector, resources of the Laboratory are being focused on devices which will increase the independence and improve the quality of life of disabled persons.

Technology Transfer

- Over the past six years the NRC collaborative orthopedic research and development program has developed and commercialized

a number of new implant devices and associated instrumentation. The program involves the Laboratory for Biomedical Engineering, the Ottawa Civic Hospital and the University of Ottawa's Bone and Joint Laboratory, the Technion Biomedical Institute, and a new Canadian company. The projects have required interdivisional collaboration with the National Aeronautical Establishment (NAE), the Division of Mechanical Engineering (DME), and the Division of Chemistry. The Industrial Development Office of NRC has participated through its IRAP program by supporting a biomedical engineering design group within the company, thus increasing its capability for expanding its product line.

- To further address the objective of improving the quality of life for disabled persons and increasing their independence, in 1978 the NRC established a unique consortium for the commercialization of technical devices. The consortium consists of NRC, through the Rehabilitation Technology Unit, 20 manufacturers, and, under the auspices of the Canadian Rehabilitation Council for the Disabled, the marketing agency TASH. Presently 120 products are being sold, 80% of which have been developed by the RTU. TASH sales for 1989–90 are forecasted to be $2M, 60% of which are being exported. One of the product lines, the TASH ability interfaces, allows severely disabled individuals to live more independently by enabling them to control their environment, operate computers, drive wheelchairs, and summon assistance. Some 8000 of these interfaces were sold in 1988, 3000 in Canada. Another product which increases independence is the specialized computer operated wheelchair controller. Four hundred of these were sold to a Canadian manufacturer, allowing the manufacturer to sell a sophisticated electric wheelchair.

- The Laboratory biennially publishes an inventory of bioengineering projects in Canada. The inventory has the participation of 200 researchers in over 120 Canadian institutions. This mechanism establishes a network of researchers and through communication helps to avoid duplication. In addition, the Laboratory publishes an international inventory on robotic applications in rehabilitation as well as an inventory of Canadian Rehabilitation Research Projects.

Collaborative Programs

All of the Laboratory's projects are carried out in collaboration with industry, health care providers, rehabilitation institutes, and consumers. Because each project is interdisciplinary in nature the projects are developed on a continuing interactive basis.

- A detailed analysis of the needs of a long-term care institute for the elderly (Élisabeth Bruyère Health Center, Ottawa, Ontario) has been completed. The study indicated that present-day powered wheelchairs would be an appropriate area of application of robotic technology for the improvement of their safety and ease of operation. Collaboration in the application of robotics technology to powered wheelchairs has commenced with Canada's largest wheelchair manufacturer and the Hugh MacMillan Rehabilitation Centre (HMRC) (with linkages to the University of Toronto).

- The Laboratory is Canada's primary measurement and calibration facility for medical ultrasound radiation devices. An ultrasound beam calibration measuring system was established in 1988 with the financial assistance of Health and Welfare Canada and provides calibration services to hospitals, industry, and Health and Welfare Canada.

- The Laboratory, in collaboration with the Molecular Physiology Group in the Division of Biological Sciences, has developed a measurement capability and expertise which is unique in the world in terms of biological parameters measured and the speed and accuracy of these measurements. This capability has led to collaborative projects with the Ottawa Heart Institute, Agriculture Canada, and with multinational pharmaceutical companies.

Future Directions and Priorities

- Develop, within two years, ways of controlling a mobile platform and its sensors so that the platform will avoid colliding with obstacles. The development will allow a user to share control of a machine through an effective interface, thus expanding the application possibilities of autonomous mobile technology in Canadian industry (health care as well as others). The immediate beneficiaries will be wheelchair users, who will have safer wheelchairs and more reliable control, and industry, which will benefit from access to a larger market.

- Build on the success of the Rehabilitation Technology Consortium by increasing the TASH product line through a realignment of NRC's efforts with new initiatives in Manitoba and Ontario.

- Demonstrate the role of NRC in catalyzing the development of a Canadian orthopedic industry. Our experience has shown that the prime factor in retaining Canadian control of new products is the access researchers and new industries have to prototyping facilities (design, fabrication, and testing). The subprojects of this activity include research into the fundamental principles of fracture bone healing and in developing orthopedic stabilizing devices. The devices will be more reliable and less traumatic to implant. The greatest beneficiaries of this research will be Canadians over the age of 65, 95% of whom suffer from some form of bone and joint disease. By making the devices more reliable and by understanding the properties of bone, fewer failures will result decreasing the need for reimplantation.

Medical Engineering Section

Head — O.Z. Roy

Autonomous Vehicle Development for Health Care Applications

L.W. Korba, P.J. Nelson, N.D. Durie, S. Lang

This is a collaborative project involving the Laboratory for Biomedical Engineering and the Laboratory for Intelligent Systems. The Laboratory for Biomedical Engineering is responsible for the development of applications of robotics technology for the health care field. This report describes progress in this area.

Autonomous Vehicle Application Specification

A study of possible robotic applications in a health care setting was carried out at the Élisabeth Bruyère Health Center (EBHC), Ottawa, Ontario, a long-term care facility for the elderly. The study report includes detailed environmental measurements (room, furniture, and equipment sizes, traffic flow, floor and wall materials and colours), potential hazards and safety concerns, staff and patient daily activities, and patient and staff feedback on application areas where robotics technology appeared to be most needed. A paper summarizing the findings has been prepared.

Fifteen potential applications were identified by the assessment group of patients and staff. On closer examination, 10 of these were eliminated or combined with others, leaving the following ranked list: (1) sensors on existing wheelchairs for prevention of collisions; (2) resident transporter; (3) patient lifter; (4) fetch and carry robot, including food-tray pick up; (5) intelligent walker.

Specific findings of the study are of particular interest. Approximately 40% of all discrete activities of both patients and staff are "transport" related. Traffic in the corridors is quite high at certain times of the day. The traffic consists of pedestrians (patients, staff, and visitors), as well as both manually propelled and self-powered wheelchairs and other vehicles — all traveling at widely different speeds. A transporter for residents, to be useful, would need to carry at least two residents. For safety, a staff person would also have to be on board. The size of such a vehicle would be close to or even exceed the environmental limitations of the EBHC building, with respect to traffic congestion and manoeuvrability.

Application Development

The study at the EBHC described above indicated that adding sensors to existing powered wheelchairs would be an immediately useful application of robotics technology. Accordingly, a network of interested groups has been assembled to work on the various aspects of this problem. The network includes the Hugh MacMillan Rehabilitation Center (HMRC), Toronto; Bloorview Children's Hospital, Toronto; Everest & Jennings Canadian Ltd. (E&J), Concord, Ontario; Southwestern Regional Center, Blenheim, Ontario; Nova Scotia Rehabilitation Center, Halifax; and other interested parties.

A survey of current users of powered wheelchairs, plus potential users of sensor-enhanced wheelchairs, is being undertaken by the HMRC (under contract from NRC). The aim of this survey is to determine the most serious problems with existing powered wheelchairs, as well as the most appropriate enhancements which need to be added, and the priorities for both. The survey will consider a variety of client populations, including physically handicapped, developmentally delayed, sensory impaired, and elderly. The survey also will attempt to determine the problems encountered by users of powered wheelchairs in transportation settings. Meetings to develop the survey questionnaire are involving numerous user groups, rehabilitation professionals, and a variety of municipal, provincial, and federal agencies. The survey and its report are expected to be completed by the end of August 1990. The findings will provide general direction for future research and development.

A basic requirement for the enhanced powered wheelchair is the ability to avoid collisions. To accomplish this function, an obstacle detection subsystem which can be attached to the wheelchair is under development. The device, based first on ultrasound, will provide a flexible set of intelligent sensors (self-testing and diagnosing) that can be attached at different locations on the wheelchair. A separate microcontroller operates each sensor and communicates with a master controller. These sensors will provide basic obstacle detection features for the wheelchair. As part of their collaboration, E&J has supplied one of their latest model powered wheelchairs and has undertaken to hire a person to work with NRC on the implementation of the enhancements for the wheelchair.

Platform Sensor Development

One way of assuring that the sensor system of a mobile robot gets accurate information about its environment is to use different types of sensors and combine the information from those sensors. To effectively combine the information from disparate sensors, the operating characteristics must be fully understood. The sonar sensor system developed for NRC's experimental platform has been characterized (Fig. 1). The array has 24 Polaroid ultrasonic sensors arranged in a radial pattern around the Cybermation platform. Single sensors were tested to determine their response to a variety of targets and eight possible sonar system settings. This characterization simplifies the use of the sonar system and provides the detailed information needed to combine data from this system with that from other sensors.

Orthopedics

R.C. Black, P. de Souza,[1] M.D. Raizenne,[2] H.K. Uhthoff,[3] A. Foux,[4] G.W.D. Armstrong,[5] D. Chow,[5] J. Wilson,[5] S. Gilbert,[5] A. Yeadon,[5] K. Hosseinzadeh,[5] C. Dolan,[5] K. Rasmuzen[5]

Spinal Implants

The thoracic plate has proceeded through cadaveric and laboratory testing preparatory to controlled clinical trials. A series of *in vitro* simulations tests were conducted in Dallas, Texas, at the Scottish Rite Hospital under the supervision of Dr. R. Ashman. The system has been characterized for component and construct stiffness. Sites of peak strain have been monitored under loading conditions demonstrating that the material remained under its endurance limit during the tests.

Fixation is the key to long-term success in spinal instrumentation. Joint studies were carried out with NAE to investigate the properties of screw fixation in modeled cancellous bone. A parametric study was completed which characterized the *S–N* curve for a high-density closed-cell foam and a cancellous bone screw. The experimental protocol for bone tests was developed.

Fracture Plates

The plate contact study was completed showing that there was no significant advantage to either a railed or bone contact plate design.

[1]Student.
[2]National Aeronautical Establishment.
[3]Ottawa General Hospital, Ottawa, Ontario.
[4]Technion — Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
[5]Guest worker.

This experiment investigated vascular theories of plate-induced osteoporosis. A second study to evaluate the mechanical factors has reached the stage of *in vivo* evaluations. The experimental plates have been prototyped and the components mechanically tested. Considerable technical investigation was required to determine the best method of fabricating the small components which provide the elasticity in the system (Fig. 2). A patent for this technology has been granted to NRC in the United States, opening the possibilities for commercialization if subsequent research supports clinical application. These implants have controlled axial flexibility to determine whether there is an optimal proportion of load to be born by the healing bone. Final verification tests are being conducted to simulate the complete assembly (plate–insert–screw–bone) to demonstrate the load sharing and to determine the systems behavior after repeated loading.

Technical Consortium

The access to prototyping has continued to decrease in-house as resources must be spread thinner. To compensate, a consortium of Terray Corporation, Ottawa Civic Hospital, Ottawa General Hospital, and NRC was formed to support implant and instrument prototyping. This model of collaboration is being explored as a tool to stimulate Canadian R&D in the medical device sector.

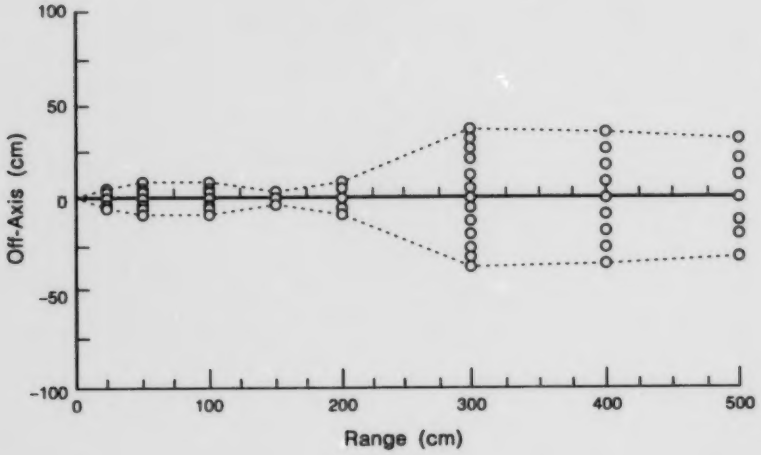
Facilities

A biomechanics test system is under development with Adelaide Testing Machines Inc., Toronto, Ontario. This unit will be particularly suited to general purpose laboratory applications but will offer a large access area and variable configuration work surface. It is hoped this will provide a base for developing a marketable product for a Canadian manufacturer.

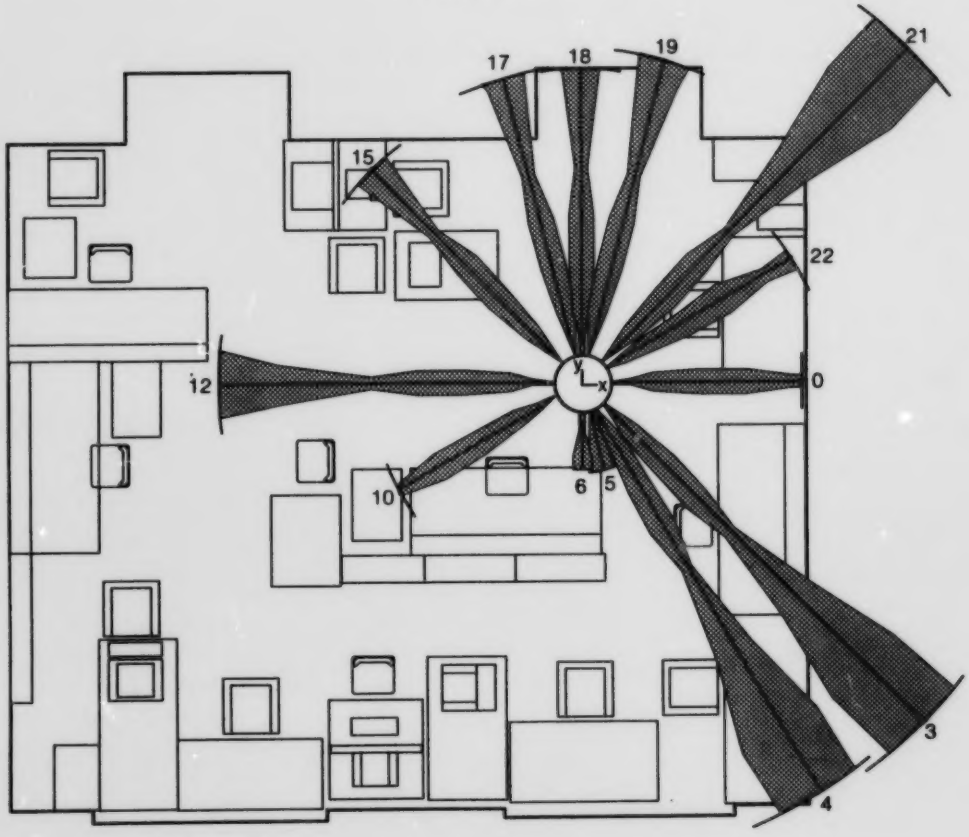
Effects of Non-Ionizing Radiation

A.J. Mortimer, G.M. North

A new ultrasound imaging system (Fig. 3) has been developed for detecting plaque within peripheral vessels. The system, which consists of four or eight elements and is fabricated in our Laboratory, provides information from within the vessel itself. Current versions of the multi-element system use a 3-mm diameter transducer and are designed to be used in conjunction with an excimer, YAG, or other laser as part of a laser angioplasty system. The new guidance system will make the use of lasers in

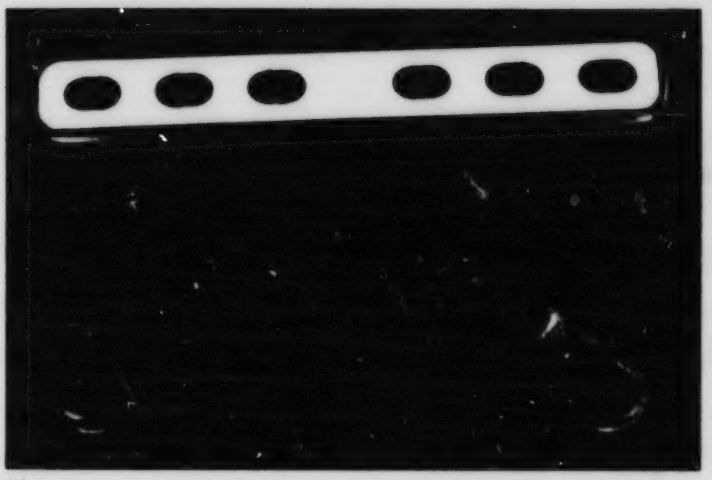


(a)

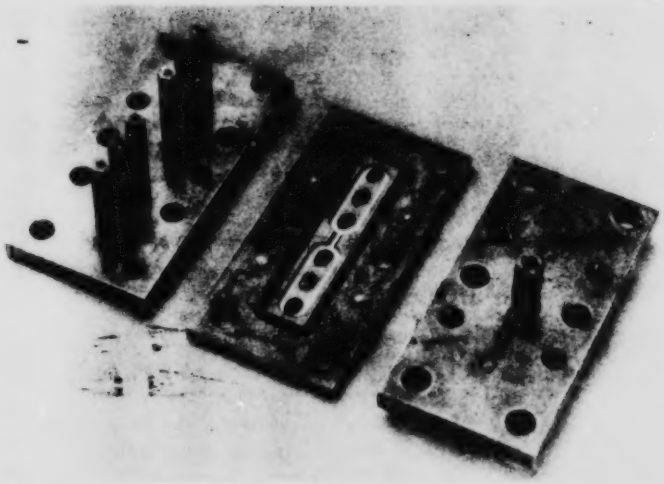


(b)

Figure 1. Sonar characterization results: (a) the sensitivity of the sonar system to one type of target when using one operation setting; (b) the use of the beam width model (using the data from (a)) to provide a better understanding of the field of view of the sonar when the platform is at one location in a room.



(a)



(b)

Figure 2. (a) Molded silicon inserts and (b) vacuum mold for flexible plate prototype.

angioplasty safer by reducing the possibility of perforation of the vessel wall during a procedure.

Diagnostic Ultrasound

Improvements continue to be made in the Laboratory's ultrasound calibration facilities for diagnostic instrumentation. A new multi-element polymer hydrophone system has been implemented. The new system allows measurement of field distributions and power output from all current clinical diagnostic equipment. The facility, the only one of its kind in Canada, has been upgraded to provide output capabilities which are not available elsewhere in the world.

In the past year calibrations have been performed for commercial manufacturing firms and individual hospitals as well as part of a preliminary survey for Health and Welfare Canada. The preliminary survey will determine the output of typical systems presently in use in clinics and hospitals throughout Canada.

Ultrasound Safety

As a result of concerns raised by several radiologists over the power levels used in Doppler imaging, theoretical studies of the heating of neonatal brain were performed. These models are being used to produce estimates of temperature rise within the brain during diagnostic procedures to allow the clinician to be able to plan diagnostic procedures more safely. In collaboration with Health and Welfare Canada thermal models are being improved to include nonlinear effects.

In an effort to better understand cavitation in tissue, studies of the mechanisms involved in producing cavitation in tissue-like gels are continuing. Dissolved organic materials such as carbohydrates, sugars, and proteins are being investigated. Experimental results (Fig. 4) show that even at very low concentrations of organic materials there is a reduction in the damaging effects of ultrasonic cavitation. The implications of these new findings on the assessment of the safety of pulsed diagnostic ultrasound continue to be explored. These data are important to standards currently being developed in both the United States and Europe.

Ultrasound Bioeffects

G.V. Forester

The research in the Laboratory for Biomedical Engineering has concentrated on the study of the effects of therapeutic level ultrasound on the myocardium. These studies have revealed that the contractile performance of depressed myocardium can be enhanced and normalized when the myocardium is irradiated with ultrasound at 1 MHz and intensities of 1 W/cm^2 Spatial Average Temporal Average (SATA). The data collected indicate that the heart will be most responsive to ultrasound when the supply–demand ratio to the heart is altered in favor of the demand and that the ultrasound application shifts the ratio in favor of the supply. A careful review of the data on mechanisms of ultrasound bioeffects points to significant nonthermal effects of ultrasound in facilitating supply of essential nutrients to the myocardium during radiation. This results in a local

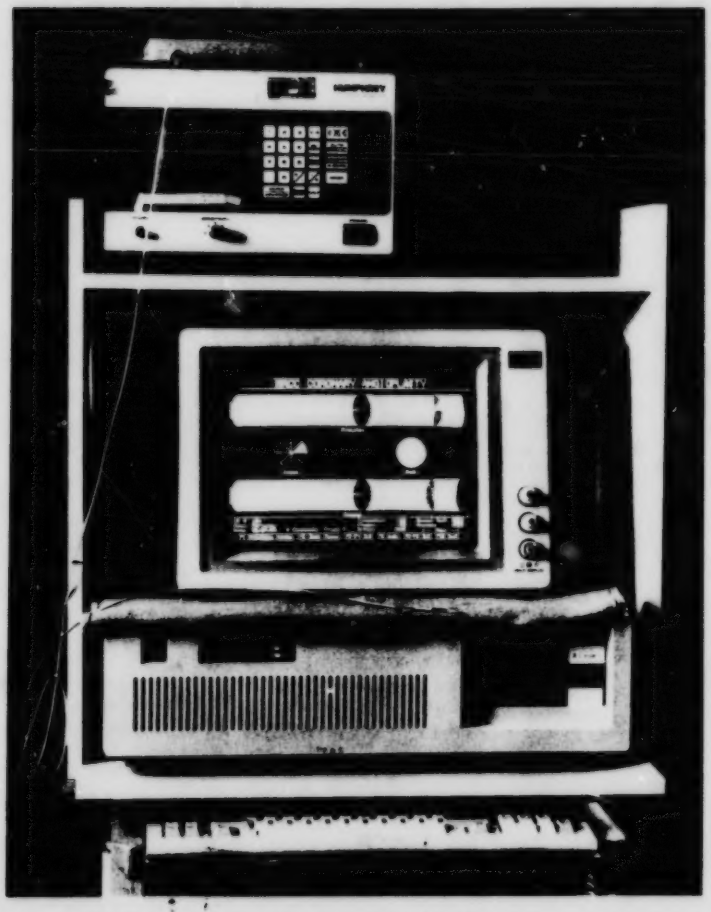


Figure 3. Multi-element intravascular ultrasound system.

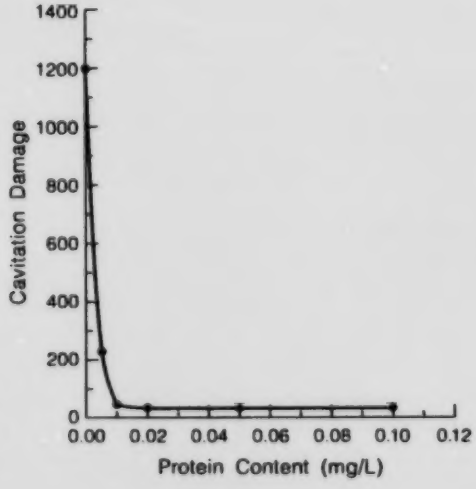


Figure 4. The effect of biological proteins on the potential for damage due to ultrasound cavitation.

increase in the availability of oxygen and other nutrients during the ultrasound application culminating in the positive inotropic effects we have measured in both isolated and *in situ* animal preparations.

As part of the process of transferring technology to the industrial sector, the Laboratory for Biomedical Engineering has joined with a commercial partner to extend the research in the Laboratory to a clinical application. By issuing a patent licence and collaboration contract, the NRC and the manufacturer are pursuing research projects that will further define the applications of ultrasound in therapy for the heart.

Recent Papers

Published

Black, R.C., Foux, A., and Uhthoff, H.K. Bone healing evaluation by using the polar flexural rigidity profile. J. Bone Joint Surg. In press. NRC 30489.

Forester, G.V., Deslauriers, R., Roy, O.Z., Butler, K.W., Saunders, J.K., Scott, J.R., and Paradis, H. Hypothermic preservation of porcine hearts by cardioplegic perfusion studied with ^{31}P NMR. Proceedings of the Fifth Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering, University of Patras, Greece. August 29 – September 1, 1989. pp. 78–79. (Extended abstract.) NRC 30815.

Korba, L.W. An analog-to-digital user interface adapter for the microcomputer's game port. Med. Biol. Eng. Comput. 27: 1989. 543–545; 1989. NRC 30380.

Korba, L.W. (Editor). International Inventory of Robotics Projects in the Healthcare Field. NRC/ERA-379, March 1989. 62 pages. NRC 30379.

Lang, S.Y.T., Korba, L.W., and Wong, A.K.C. Characterizing and modelling a sonar ring. Proc. of SPIE, Advances in Intelligent Robotics Systems: Mobile Robots IV, Philadelphia, PA. November 5–11, 1989. pp. 291–304. NRC 30928.

Nelson, P.J., and Stride, B. Why "High Tech" vocational aids are not accepted in the workplace — a discussion with differing perspectives. Proceedings of the 4th Canadian Congress of Rehabilitation, Toronto, Ont. June 20–23, 1989. p. 127. NRC 31295. (Extended abstract.)

Nickerson, S.B. Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., and Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston, Ont. August 8–11, 1989. In press. NRC 31293.

Nickerson, S.B., Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P.,

Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., and Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, P.Q. September 17–20, 1989. pp. 49–52. NRC 31292.

Roy, O.Z., and Durie, N.D. (Editors). Inventory of Projects in Bioengineering. National Research Council, Ottawa, Ont. December 1989. 230 pages. NRC 31051.

Roy, O.Z., and Podgorski, A.S. Tests on a shocking device — the stun gun. Med. Biol. Eng. Comput. 27: 445–448; 1989. NRC 30816.

Sauer, F.D., Kramer, J.K.G., Forester, G.V., and Butler, K.W. Palmitic and erucic acid metabolism in isolated perfused hearts from weanling pigs. Biochim. Biophys. Acta. In press. NRC 30317.

Turpin, B.A.M., Korba, L., Nelson, P.J., and Joly, R. Developing specifications of a robot for health care use; step 1: data collection. Proceedings of the 12th Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, New Orleans, LA. June 26–30, 1989. pp. 115–116. NRC 30394.

Turpin, B.A.M., Korba, L., Nelson, P.J., and Joly, R. Exploration of robotic applications in a long-term health care setting. Proceedings of the International Advanced Robotics Programme First Workshop on Domestic Robots and Second Workshop on Medical and Healthcare Robotics, Newcastle-Upon-Tyne, UK. September 5–7, 1989. pp. 337–339. NRC 30653.

Presented

Conger, S., and Flynn, R. New initiatives for the employment of persons with disabilities. 4th Canadian Congress of Rehabilitation, Toronto, Ont. June 20–23, 1989. *Presented by* O.Z. Roy.

Durie, N.D., Roy, O.Z., and Farley, R. A vehicle for the workplace. 4th Canadian Congress of Rehabilitation, Toronto, Ont. June 20–23, 1989.

Korba, L.W., Kwee, H., Hamel, J., and Gilbert, M. Past, present and future of robotics aids. Seminar, 12th Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, New Orleans, LA. June 26–30, 1989.

Roy, O.Z. Image and perception. Technology for Everyone Conference, Chatham, Ont. October 11–12, 1989. (Invited.)

Turpin, B.A.M., Joly, R., Korba, L.W., and Nelson, P.J. The application of robotics technologies for the improvement of patient care. Regional Presentation at Elisabeth Bruyère Health Centre, Ottawa, Ont. June 19, 1989.

Rehabilitation Technology Unit

Head — J. Batelaan

Production Engineering of Aids for the Handicapped

J. Batelaan, W.G. Bennett, I.P. Clark, A.J.W. Liu

The TALK-O communication aid for nonverbal handicapped persons, described in the *Bulletin* 3(3), required some further refinement of the final product. Several mechanical aspects of the housing and battery mounting were improved and the responsiveness of the unit to switch closures was enhanced by a software change. The complete software code was rewritten and clearly documented to provide good access by other designers who wish to make further improvements in the product. Close to 100 TALK-O units have been sold.

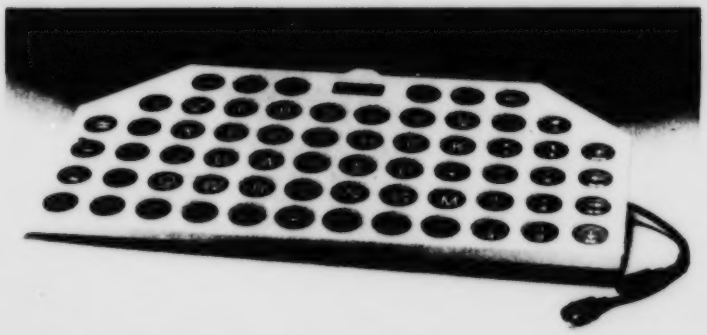


Figure 1. PC King Keyboard (used by a person's foot or fist).

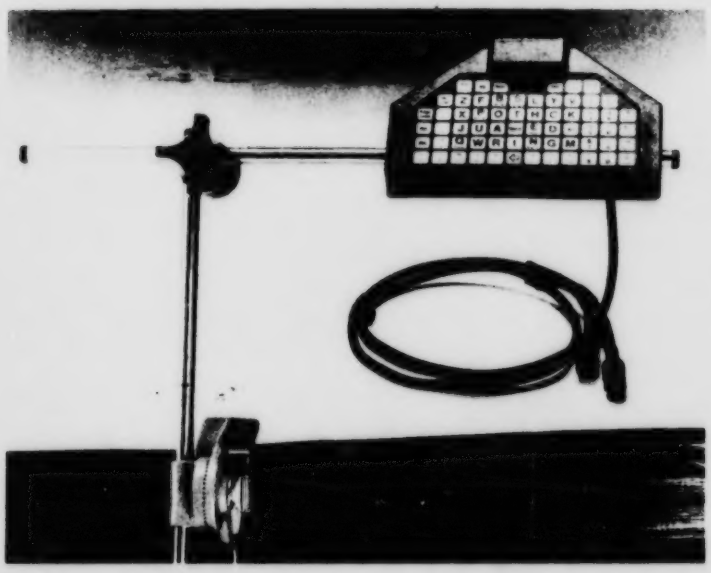


Figure 2. PC Mini Keyboard (for persons with low strength and limited range of movement).

Several smaller devices were developed and transferred to a manufacturer for production and to TASH for marketing; these include a dual ability switch controller for X-10 remote power modules, keyguards for IBM computer keyboards, a dual head switch assembly for electric powered wheelchair control, and two switch mounting hardware items. Most of the development effort went into the King keyboards for PC compatible computers (Figs. 1 and 2), the Unidialer 2, an update of the telephone dialer, Unidialer, which was first introduced in 1983 (Fig. 3), and the RELAX. The RELAX is described in some detail below.

RELAX — Trainable Infrared Transmitter

Environmental Control, that is, the control of devices in one's environment (lights, appliances, etc.) has always been an RTU priority for the physically disabled. The dramatic increase in the number of consumer products utilizing infrared remote controls would seem to provide the disabled with a wealth of devices they can access. Unfortunately, in most cases the hand-held transmitter is unsuitable for these individuals. In the past RTU has modified hand-held units to allow one or two functions to be controlled by external switches designed to match specific disabilities. As the popularity of infrared remotes grew and the number of commercial devices increased it became obvious this was not a practical solution to this problem.

The RELAX is a portable microprocessor-based trainable infrared transmitter designed specifically for the physically disabled (Fig. 4). It has the ability to learn and reproduce the infrared signals sent from the original transmitters supplied with consumer products. The RELAX can be programmed with 50 commands which may represent the commands from several different devices. It provides the disabled user access to these commands by single step scanning using a single switch or by direct access with a 3 x 5 matrix keyboard.

The RELAX is housed in an enclosure measuring 195 mm x 100 mm x 30 mm and with batteries installed weighs 440 g. The front panel has two groups of lights, the first being used to identify a device and the second a

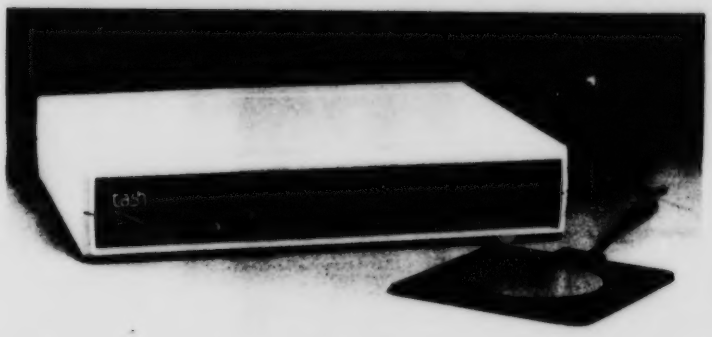


Figure 3. Unidialer 2 — Single switch telephone dialer.

Figure 4. RELAX — Single switch remote control.

function. The REPEAT light provides a rapid method of accessing the device and function most recently selected.

Training is accomplished by putting the RELAX into the TRAIN mode, selecting a location on the display to represent the function to be trained, pointing the commercial transmitter at the RELAX receiver, and pressing the appropriate button on the commercial unit to start infrared transmission. The RELAX indicates successful training, a process that usually takes less than 1 s, with an audible tone. The RELAX is put in the USE mode to transmit the trained codes.

The software and electronic hardware for the RELAX was developed under contract to specifications generated by RTU; RTU developed the packaging in-house. The process spanned a time period of approximately two years during which several consumer products appeared on the market with similar capabilities regarding code training but again they were not suitable for the disabled population. In transferring the technology to a manufacturer, RTU purchased 10 units for field trials and found the units to be well received. About 30 were sold in the first few months of 1990.

A spin-off from the RELAX has been the SERIAL RELAX, a simplified version of the RELAX without display but with a serial communication interface. The need for this type of device became apparent when several developers of computer-based Environmental Control systems showed an interest in the RELAX concept but wanted the user interface to reside on the computer screen. Prototype units have been produced and are now being evaluated by these developers.

Recent Papers

Published

Batelaan, J. Track wheel — a hybrid vehicle suspension system. Int. J. Veh. Des. IAVD Congress on Vehicle Design and Components, Geneva, Switzerland. March 1989. pp. 333–338. NRC 31357.

Liu, J.W. The Bethe theory for dissociative excitations and ionization of $H_2^+(1s\sigma_g)$ by electron impact. J. Phys. B, 22: 2605–2621; 1989. NRC 31418.

Liu, J.W. A test of wave function for $H_2^+ ({}^2\Sigma_g^+)$ via the study of Compton Profiles. J. Phys. B, 22: L139–L144; 1989. NRC 31419.

Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering

Head (Acting) — M.M.C. Collins

Objectives

Mandate

- To provide, through applied research in cooperation with Canadian electrical utilities, manufacturers, and other government departments, standards, testing procedures, and technology in the areas of precision measurements, electromagnetic compatibility, and dielectrics.

Strategic Objectives

- To anticipate and meet the electrical measurement requirements of the Canadian electrical power industry by developing new state-of-the-art measurement techniques and instrumentation and by providing basic knowledge relating to critical issues such as national and international standards for electrical measurements and accelerated aging tests for electrical equipment and materials.
- To improve the understanding of electromagnetic interference/electromagnetic compatibility (EMI/EMC) in order to develop diagnostic instrumentation and calibration and testing facilities and to contribute to the development of national and international EMI/EMC standards.

Operational Objectives

- To improve the precision measurements capability by increasing the bandwidth of the nonsinusoidal calibration facility, extending the frequency range of the power bridge, and adding a distorted waveform capability to the load loss simulator.
- To continue studies, with participation from material suppliers, equipment manufacturers, and the electric utilities, into the long-term failure mechanisms of electrical insulation and to develop improved polymer-based insulation systems.
- To advise on electromagnetic hardening procedures for the New Shipborn Aircraft Project, as part of the commitment to the Department of National Defence (DND).
- To complete the pulse generator for the bounded wave Nuclear Electromagnetic Pulse (NEMP) simulator of the Defence Research Establishment Ottawa (DREO).

Program Description

Three groups within the Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering carry out the program of the unit.

The objective of the precision measurements group is to anticipate and meet the electrical measurement requirements of Canadian industry by developing new and improved measuring techniques and instrumentation. The subject areas under study are power measurements (including distorted waveforms), voltage transfer techniques to improve the accuracy of measuring ac voltages relative to a dc standard, and calibration of various types of hardware such as instrument transformers and electricity meters. A major service is the *in situ* calibration of loss measuring systems used by manufacturers of large power transformers and inductive reactors, by means of a precise low power factor load loss simulator developed by the group. A new activity is the measurement of environmental electromagnetic fields in the home, office, and out-of-doors.

The objective of the electrical insulation group is to determine the mechanisms of long-term deterioration of electrical insulation subjected to high electric stresses and, from these fundamental studies, develop standard accelerated aging tests which will be acceptable to and used by industry. The accelerated aging must duplicate real aging phenomena and not introduce mechanisms of aging which do not normally occur under service conditions. The studies have focused on the aging of polymeric materials used in high voltage cables. Different aging mechanisms occur depending on whether or not the insulation is exposed to moisture in normal operation.

The objective of the electromagnetic interference/electromagnetic compatibility group is to advance the state-of-the-art in the area of EMI/EMC, with special emphasis on pulse

modeling and measurements relevant to Canadian industry, public safety, and national defence. The EMI/EMC group contributes to national and international EMI/EMC standards and provides appropriate testing and calibration facilities. The main activities of the group are in the areas of EMI measurements, EMI generation, numerical modeling, measuring system calibration, and electronic systems hardening.

Technology Transfer

- Industrial acceptance of the load loss simulator is increasing. Recent calibrations of industrial test measurement systems include ABB (Muncie, Indiana, and London, Ontario)
- A research program was started for the Canadian Electrical Association (CEA) to develop high accuracy standards for power and volt-ampere measurements.
- Patents were awarded for a microprocessor-controlled high-voltage capacitance bridge, a transconductance amplifier, and an additive to retard electrical aging in polymeric materials. The transfer of these technologies to industry is being pursued.

Collaborative Programs

- The work in EMI/EMC is in collaboration with DND. Two NRC staff members have been seconded to work at DREO. In addition, contacts have been made with respect to electromagnetic pulse (EMP) analysis and testing with Canadian industry and other government departments, e.g., Canadian Marconi Company, JSI Telecom, Transport Canada, and the Royal Canadian Mounted Police.
- The dielectrics group has a number of collaborative programs with Canadian electrical utilities and with Canadian industry. These programs are aimed at understanding the aging process, developing tests to accelerate aging, and working towards insulation materials which will retard the aging process.

Future Directions and Priorities

As in the past, the various groups in this Laboratory plan to rely upon their extensive connections with members of the electric power industry, individually and through active participation in technical committees, to ascertain the concerns of the industry and anticipate new requirements.

- In the precision measurements group, the emphasis on the development of improved instrumentation for electrical measurements in a system subject to nonlinear loads will be continued. Effort will also continue to automate measurement procedures, accommodating an increased demand for calibrations from industry and at the same time satisfying more stringent measurement requirements.
- Accelerated aging and diagnostic tests on insulation materials will continue in cooperation with Canadian utilities and manufacturers. Fundamental studies of the aging mechanism are proceeding, partially supported by the Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) and Ontario Hydro. The NRC is also assisting a Canadian materials supplier develop insulating materials for high voltage applications.
- Currently DND is the principal client of the work in EMI/EMC. The transfer of the EMP protection technology to DND will continue for at least another two years.

Power Engineering Section

Head — W.J.M. Moore

Precision Electrical Measurements

E. So, W.J.M. Moore, R. Arseneau, P.S. Filipski, T.R. McComb, P. Miljanic,[1] Y. Sakumoto,[2] D. Kovacevic[2]

Electricity Metering

The commercial version of the computer-controlled current comparator, manufactured by Measurements International Limited, Prescott, Ontario, has been incorporated in the power bridge. Work is continuing on extending the voltage, current, and frequency ranges of the bridge.

The new computer-controlled ac calibrator for sinusoidal and distorted voltage, current, and power is being used for the calibration of active/reactive power and energy meters. The extenders for current and voltage have been built and their accuracies checked. The ac calibrator is now capable of calibrating voltage, current, and active and reactive power measuring instruments in the range up to 600 V and 100 A. The calibration uncertainty at the power frequency is below 20 ppm. Work is continuing on extending the frequency range.

A standard time-division multiplier (TDM) watt converter has been developed. Its residual error, after corrections, is below 100 ppm up to 5 kHz and below 0.25% up to 20 kHz. Measurements International Limited is acquiring a licence to manufacture the converter. Work is continuing on extending the application of the converter to a transportable power/energy/VA standard and a reactive power meter.

An international comparison of the low-audio-frequency power meter calibrations was conducted between June 1989 and January 1990. The NRC standard TDM watt converter was calibrated at four national laboratories — the National Physical Laboratory, Teddington, United Kingdom, the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, United States, the Institut Mihailo Pupin, Belgrade, Yugoslavia, and the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany. Results of these comparisons will be presented at the Conference on Precision Electromagnetic Measurements, CPEM-90.

A Canadian Electrical Association Project 252-D-722, "NRC Travelling Standards for kilowatt and kVA Measurements," has recently been started. The objective is to develop high accuracy portable standards for measuring power, energy, and volt-amperes. The standards will eventually be used for a new calibration service which NRC will be offering to Canadian utilities and manufacturers.

[1]Visiting research officer.

[2]Guest worker.

Electronically Aided Current Transformer

Several electronically aided current transformers have been constructed and their performance checked. A study is under way to evaluate the applicability of the electronically enhanced core to the construction of voltage transformers. A new method is being incorporated for the detection of a dc component in the primary current.

Current-comparator-based Load Loss Standard

Work is continuing on extending the capabilities of the load loss standard for calibrating different types of high voltage loss measuring systems.

Microprocessor-Controlled Current-comparator-based DC Voltage Calibrator

The performance of the commercial version of the calibrator (manufactured by Measurements International Limited, Prescott, Ontario) is being evaluated (Fig. 1).

RMS AC/DC Voltage Comparator

A new rms ac/dc voltage comparator based on a solid state differential thermal converter has been developed. The new instrument is designed to operate as a null meter with a range of 1000 ppm of typical test voltages used in high accuracy ac calibrations. Tests have shown that the accuracy of the comparator is better than 50 ppm for frequencies of 50 Hz to 200 kHz. The instrument was tested at frequencies as high as 1 MHz where errors of less than 0.3% were obtained.

Measurements of Electromagnetic Fields at Power Frequencies

The National Research Council is a participant in a multi-utility program sponsored by the Canadian Electrical Association (CEA Project 272-T-677) to measure the electric and magnetic field environment in Canada. The NRC's contributions to the project will include

Figure 1. Commercial version of the microprocessor-controlled current-comparator-based dc voltage calibrator.

measurements of the electric and magnetic fields in about 30 locations in the Ottawa area. Calibration facilities will also be made available for the electric and magnetic field meters used by the participants in the program.

Power Quality

A power quality audit was performed for a major Canadian resource company.

The Precision Measurements Group has been invited to participate in the Power Quality Testing Network, organized by the Power Electronics Application Center of the Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, California.

Impulse Measurements

A new initiative this year is a joint project with the National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland. T.R. McComb has been seconded for a year to NIST, at NIST's expense. As a Guest Researcher he will continue his research on High Voltage Impulse Measuring Systems and developing transfer standards for use by the electric power industry in North America. He will be working in the Electrosystems Division of NIST in cooperation with researchers in the Applied Electrical Measurements Group. This work is to provide systems which meet the requirements of the Draft International Standard of the International Electrotechnical Commission (IEC) on which a vote will be taken in 1990.

Standards

The Standards Council of Canada has continued their support for T.R. McComb as International Secretary of IEC Technical Committee 42, High Voltage Testing Techniques. This year TC42 approved two documents for voting by the National Committees, the revision of IEC Publication 60-3 and 60-4 (42 [Secretariat] 62) and a new standard on "Digital Recorders for Measurements in High-Voltage Impulse Test Part 1 — Requirements for Digital Recorders". The NRC made substantial technical contributions to both of these documents. The IEC has now printed IEC Publication 60-1: *1989 High-Voltage Test Techniques Part 1: General Definitions and Test Requirements*. Technical Committee 42 has formed a new working group to write a standard on high voltage testing with very fast transients.

CIGRE Working Group 33.03

Contributions on digital techniques and comparative measurements are continuing. Results were presented at the 6th International Symposium on High Voltage Engineering in September 1989 and at the IEEE Power Meeting in February 1990.

Electrical Insulation

R.J. Densley, A.T. Bulinski, S.S. Bamji, H. Muto[1]

Work is continuing to determine the mechanisms of aging of polymeric insulation subjected to high electric stresses. The knowledge gained from these studies is used to develop accelerated aging tests to compare the performance of materials and to predict the life of power equipment in service.

The major effort continues to focus on the synergistic effects of electric stress and moisture on polymers such as cross-linked polyethylene (XLPE) used for insulation of high voltage distribution cables. The work is supported financially by AT Plastics Inc., Union Carbide Canada Ltd., Exxon Chemicals Co., Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) and Ontario Hydro, as well as the Electric Power Research Institute (EPRI).

A joint project with IREQ to determine the role of oxidation in water treeing is nearing completion. The objectives of the project were to determine whether thermal oxidation of the insulation influenced the initiation and growth of water trees and if the water trees themselves caused oxidation of the insulation. Cross-linked polyethylene ribbons from a new cable were thermally aged in air to give three levels of oxidation typical of those measured in cables removed from service. The ribbons were then subjected to accelerated water tree growth tests in a NaCl solution at two electrical stresses and two frequencies. All tests were performed at room temperature. After electrical

[1]Guest worker.

aging for preset times the number and lengths of the trees were determined and the 60 Hz breakdown strength measured. For the accelerated aging conditions of high frequency and/or high stress used in these tests, the density and lengths of the trees increased with aging time, as expected, but did not change significantly with oxidation. The breakdown strengths after the electrical aging were also independent of the oxidation level but decreased at longer aging times, i.e., as the tree lengths increased. Thus, the levels of oxidation found in service-aged XLPE cables do not have any effect on the initiation and growth rate of water trees.

Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy was used to compare the oxidation levels of individual water trees with healthy XLPE insulation. Trees grown in the laboratory under accelerating conditions and trees removed from service-aged cables were both examined. The study brought to attention the care which must be exercised in such measurements to distinguish between the absorption peaks of the antioxidants added to the insulation and those of the polymer oxidation. The results showed that there was no excess oxidation in the majority of trees examined. However, a small number (<10%) did show a slight excess oxidation (~10%) over healthy XLPE insulation. All trees showed an increased susceptibility to oxidation when exposed to high temperature. The oxidation induction times of the trees were 30–50% shorter than those of the corresponding insulation without trees.

A guest worker from Furukawa Electric, Japan, examined the simultaneous thermal and electrical aging of XLPE insulation, without an antioxidant, exposed to a salt solution. Trees grown under combined thermal and electric stresses had higher levels of oxidation than trees grown at room temperature.

The results of the oxidation studies show that one or more of the following could be occurring: the contaminants driven into the trees by the electric field can act as catalysts for oxidation at high temperature, the contaminants neutralize the effect of the antioxidant resulting in increased oxidation inside the tree, or the antioxidant is not effective in the presence of water to prevent oxidation at high temperature.

A joint project with IREQ to determine the mechanisms by which a water tree initiates electrical failure is continuing. Results have confirmed that as the water tree bridges the insulation, an electrical tree starts from the opposite surface and grows through the water tree to complete the breakdown. The conditions at the interface necessary for the water tree to convert to an electrical tree have yet to be determined. As part of this project insulation containing water trees was subjected to breakdown tests to determine its sensitivity to ac, dc, impulse, and impulse superimposed on ac. Alternating current and impulse voltage tests proved to be the most useful and practical to assess the severity of water treeing in XLPE insulation.

A two-year project with Ontario Hydro has begun to determine the role of mechanical stresses in water tree degradation. This work is funded by EPRI. The effects of residual mechanical strain in the polymer on water tree initiation and growth and the pressure generated within a water tree will be studied. An attempt to grow water trees mechanically will be made. If the results show that mechanical forces are important, accelerated aging tests can be modified to include mechanical strain as a test parameter and tougher materials could be developed to resist water treeing.

A state-of-the-art review of multistress aging in transmission class power cables is nearing completion for EPRI. The review will point out what research is needed to understand aging in extruded insulation in these cables. This work is important for the electric utilities in North America as considerable expansion in underground transmission equipment is predicted to meet the energy demand for the next century. Physical aging, morphological changes, and thermomechanical behavior of the insulation system appear to have the most significant effects on its life.

The group has completed the second series of round robin electrical and water treeing tests for CIGRE SC 15. The data from such tests will be used to develop international standard test procedures.

Previous work to study electrical tree initiation in dry polymers has been confined to metallic electrodes in contact with the polymer. In practical insulation systems, however, the polymer contacts carbon-loaded polymers (semiconducting electrodes). In conjunction with Furukawa Electric Co., electric tree initiation phenomena using semiconducting electrodes is under investigation. A photodetection technique which measures electroluminescence (shown in Fig. 2) is being used to detect initiation phenomena.

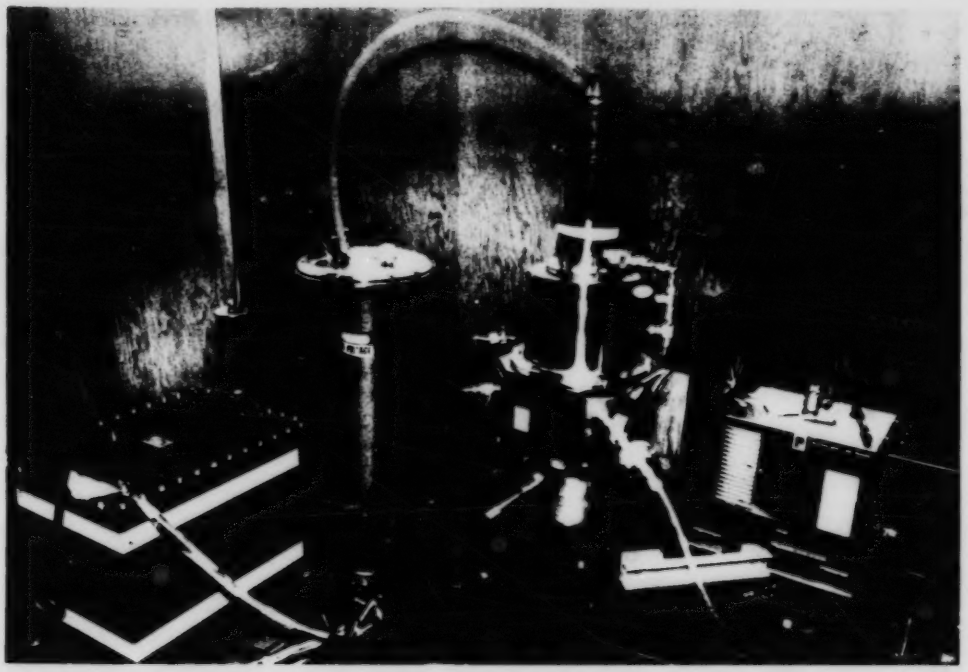


Figure 2. Test cell and photodetection system to measure electroluminescence in polymers.

Electromagnetic Interference/ Electromagnetic Compatibility

A.S. Podgorski, M.M. Kekez, J. LoVetri, M.S. Wartak[1]

Electromagnetic Pulse Measurements

Work is continuing on the development of a very fast pulse measuring system. During the last year, the response time of coaxial measuring systems has been decreased to 50 ps. It is expected that during the next year the response time will be further decreased to 25 ps.

In cooperation with R&D Optics, Ottawa, Ontario, work is continuing on the development of fiber optic measuring systems.

Electromagnetic Pulse Simulator

The overall objective of this project is to develop a facility for EMI/EMC and composite EMP threat testing. This type of facility can be used by Canadian industry and other federal government departments for the verification of electromagnetic (EM) protection with particular emphasis on transients and pulse protection. A new hv Marx coaxial generator with a risetime of less than 1 ns was built and tested.

[1]Guest worker.

Electromagnetic Hardening

The objective of this project is to assist industry and other government departments in the development of a theoretical basis for the design of protection against the effect of EM interference.

Numerical methods for analysis of EM problems such as lightning and nuclear EMP are being developed (see Fig. 3). An expert system was developed for hardening of electronic equipment against different EM threats.

Acceptance of the hardening procedure which takes into account the composite threat — lightning, nuclear, and microwave electromagnetic — is increasing. Canadian Marconi, the Department of Transport, JSI Telecom, and the RCMP have requested hardening of their communication systems and facilities against the composite threat.

The EMI/EMC Group conducted numerous collaborative projects with Canadian industry and federal government departments. All projects were intended to lead to cost-effective protection of electronic systems against natural and man-made electromagnetic threats.

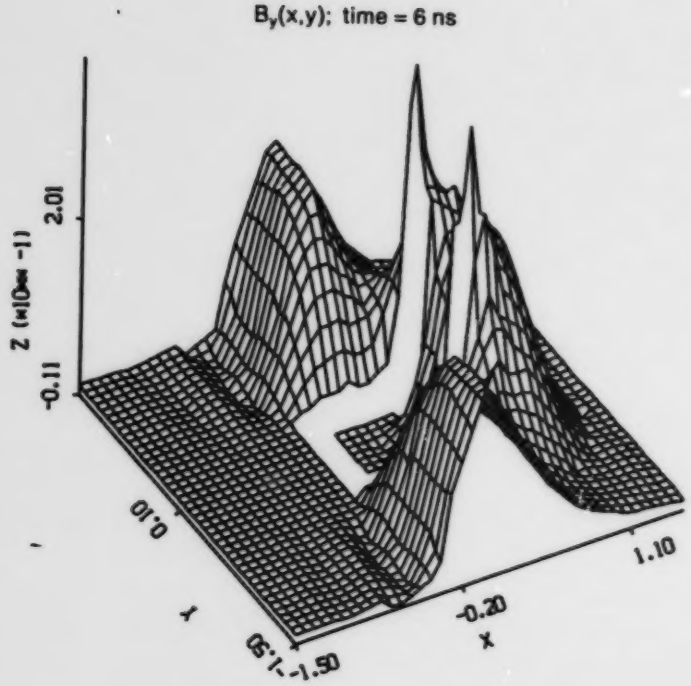


Figure 3. Magnetic field penetrating shield.

Electromagnetic Interaction Modeling

The development of new 2-D and 3-D EM codes and algorithms is in progress. The codes will be used in investigation of nonlinear problems such as gap discharges and propagation in nonlinear media.

EMP Interaction Analysis and Measurement (Research at DREO)

S.C. Kashyap, J. Seregelyi

Guidelines have been established for the use of frequency domain codes such as NEC to obtain the EMP time domain response by using inverse Fourier transform techniques. It has been demonstrated that judicious choice of frequency range and step and the use of interpolation techniques can produce accurate results with considerable saving in computer time. Two codes have been written on the Moment method analysis of parallel plate EMP simulators. The simulators may be made from two sets of parallel wires or two plates and may have an otherwise arbitrary cross-section.

In order to have the capability for making system level EMP measurements a 10 m simulator has been designed. The overall length of the simulator is 90 m and it has a working volume of 10 m(H) × 20 m(W) × 30 m(L). The simulator is large enough to accommodate a helicopter or a tank.

Development of a capability in techniques used for EMP hardening has been initiated. Work to date includes collection of information on transient protection devices (TPDs) and some initial experiments to look at the performance characteristics of TPDs. A bench top facility for the evaluation of TPDs is being designed.

Recent Papers

Published

Arseneau, R., and Zelle, J. A tri-axis electromagnetic field meter. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-39(1): 23–27; 1990. NRC 30900. (*Summarized in* Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC 89, Washington, DC. April 25–27, 1989. p. 283. NRC 31666. (Extended abstract.)

Arseneau, R., and Zelle, J. An accurate RMS-DC voltage comparator. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC '90, San José, CA. February 13–15, 1990. p. 19. NRC 31667.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, R.J. The effect of gas-impregnation on the aging mechanism of polymeric insulation. Proceedings of the Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA. August 28 – September 1, 1989. Paper No. 21-01, 3 pp. NRC 30822.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., Densley, R.J., Crine, J.-P., Noirhomme, B., and Bernstein, B.S. Influence of oxidation on water tree initiation and growth in XLPE cables. Proceedings of the 3rd International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, Trondheim, Norway. July 3–6, 1989. pp. 422–427. NRC 30821.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., Densley, R.J., Crine, J.-P., Noirhomme, B., and Bernstein, B.S. Water treeing in a heavily oxidized cross-linked polyethylene insulation. Proceedings of the Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA. August 28 – September 1, 1989. Paper No. 13-06, 4 pp. NRC 30823.

Das-Gupta, D.K., and Densley, J. Polarization phenomena in cross-linked polyethylene (XLPE) containing water-trees. 1989 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Leesburg, VA. October 29 – November 1, 1989. pp. 224–229. NRC 31102.

Densley, J., Bulinski, A.T., and Bamji, S.S. Water treeing studies in cable insulation. Proceedings of the 22nd Symposium on Electrical Insulating Materials, Tokyo, Japan. October 12–13, 1989. pp. 1–11. NRC 30861.

Dion, M., and Kashyap, S. Some considerations on the use of NEC for computing EMP response.

Appl. Comput. Electromagn. Soc. 4(2): 73–89; 1989. NRC 31138.

Filipski, P.S. Comments on "Measurement and compensation of fictitious power under nonsinusoidal voltage and current conditions" by J.H.R. Enslin and J.D. Van Wyk. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(3): 837; 1989. NRC 31497.

Filipski, P.S. Discussion on "Basic mechanisms of generation and flow of harmonic signals in balanced and unbalanced three-phase power systems" by K. Olejniczak and G.T. Heydt. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-4(4): 2162; 1989. NRC 31668.

Filipski, P.S. A TDM wattmeter with 0.5 MHz carrier frequency. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-39(1): 15–18; 1990. NRC 30930.

Filipski, P.S., and Arseneau, R. Calibration of three-phase revenue meters under distorted waveform conditions. Proceedings of the IEE Sixth International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, Manchester, UK. April 3–5, 1990. pp. 236–240. NRC 31435.

Gravelle, L.B., Ney, M.M., Berthiaume, M., Kashyap, S., and Costache, G.I. Solutions of electromagnetic shielding problems by finite element and TLM methods. Proceedings of ICEAA International Symposium, Torino, Italy. September 1989. pp. 127–130. NRC 31142.

Kashyap, S., Dion, M., and Seregelyi, T.S. Computation and measurement of EMP response of antennas. Proceedings of IEEE AP-S International Symposium, San Jose, CA. June 26–30, 1989. pp. 590–593. NRC 31143.

Kekez, M.M., LoVetri, J., Podgorski, A.S., Dunn, J.G., and Gibson, G. A 60 joule, 600 kV, 1 ns rise-time Marx system. Proceedings of the Seventh IEEE Pulsed Power Conference, Monterey, CA. June 11–14, 1989. pp. 123–127. NRC 30699.

LoVetri, J., Abu-Hakima, S., Podgorski, A., and Costache, G.I. HardSys: Applying expert system techniques to electromagnetic hardening. Proceedings of the IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Denver, CO. May 23–25, 1989. pp. 383–385. NRC 30050.

McComb, T.R., Chagas, F.A., Feser, K., Gururaj, B.I., Hughes R.C., and Rizzi, G. An empirical evaluation of various proposed methods of characterizing the dynamic behaviour of an HV impulse measuring system. Proceedings of Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA. September 1989. Paper No. 41.01, 4 pp. NRC 31669.

McComb, T.R., Chagas, F.A., Feser, K., Gururaj, B.I., Hughes, R.C. and Rizzi, G. Comparative measurements of HV impulses to evaluate different sets of response parameters. IEEE Power Engineering Society 1990 Winter Meeting, Atlanta, GA. In press. NRC 31048.

Mishra, S.R., and Kashyap, S. Corrections to antenna factors due to presence of ground plane and chamber walls. Proceedings of International Conference on EM Interference and Compatibility, INCEMIC '89, Bangalore, India. September 1989. pp. 57–60. NRC 31141.

Moore, W.J.M., So, E., and Working Group IEEE-120. IEEE Master Test Guide for Electrical Measurements in Power Circuits. ANSI/IEEE STD 120-1989. IEEE Inc., New York, NY. 1989. NRC 31670.

Muto, H., Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. A study of oxidation and water treeing in polyethylene. 1989 Annual Conference of Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Leesburg, VA. October 29 – November 1, 1989. pp. 247–252. NRC 31065.

Roy, O.Z., and Podgorski, A.S. Tests on a shocking device — the stun gun. Med. Biol. Eng. Comput. 27: 445–448; 1989. NRC 30816.

So, E. A microprocessor-controlled high-voltage current-comparator-based capacitance bridge. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-5(2): 533–537; 1990. NRC 30934. (*Summarized in* IEEE Power Eng. Rev. PER-10(4): 49; 1990. NRC 31671.)

Sturgeon, R.E., Willie, S.C., Luong, V., Berman, S.S., and Dunn, J. Furnace atomisation plasma emission spectrometry (FAPES). J. Anal. Atom. Spectrom. 4: 669–672; 1989. NRC 31221.

Wartak, M.S., and Podgorski, A.S. Simple Model of the Gaseous Plasma and its Soliton Solutions. NRC/ERB-1027, February 1990. 4 pages. NRC 30824.

Presented

Bamji, S.S., Bulinski, A., and Densley, J. The effect of nitrogen impregnation on the aging mechanism of polymeric insulation. Corona Research Group (Cage Club), Trent University, Peterborough, Ont. May 8–9, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Electrical and water treeing studies at NRC. Central Research Institute of Electric Power Industry, Yokosuka Research Laboratory, Yokosuka, Japan. September 29, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Water tree degradation of XLPE Cables and its impact on impulse breakdown strength. Chiba Research Laboratory of Furukawa Electric Company, Chiba, Japan. October 2, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Electrical and water tree degradation in XLPE insulation. Fujikura Research Laboratory, Tokyo, Japan. October 4, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Aging of polymer-insulated high voltage cables. Nagoya University, Nagoya, Japan. October 5, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Water treeing in XLPE cables. Institute of Electrical

Engineers of Japan (Kansei Chapter), Osaka, Japan. October 9, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Electrical tree initiation and water tree degradation in polymers. Sumitomo Electric Research Laboratory, Osaka, Japan. October 9, 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., and Densley, J. Electrical and water tree degradation in polymers. Showa Cable Research Laboratory, Kawasaki, Japan. October 11, 1989.

Bulinski, A., Bamji, S.S., and Densley, J. Polymer oxidation and water treeing. Corona Research Group (Cage Club), Trent University, Peterborough, Ont. May 8–9, 1989.

Filipski, P.S. Impact of harmonics on metering. Second National Conference on Power Quality for End-use Applications, San Francisco, CA. March 21–23, 1990. (Invited.)

Kashyap, S. Nuclear electromagnetic pulse (NEMP). Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean, Ont. March 29, 1989.

Kekez, M.M. Self-similar properties of minimum spark over voltages in some gases, liquids, and solids. Corona Research Group (Cage Club), Peterborough, Ont. May 8–9, 1989.

Kekez, M.M. Leader formation: critical mass and spark-over voltage characteristics. 17th Annual Conference on Electrostatics, Lake Placid, NY. June 20–23, 1989. (Invited.)

McComb, T.R. Linearity tests for high voltage impulse measuring systems. Corona Research Group (Cage Club), Peterborough, Ont. May 8–9, 1989.

McComb, T.R. Qualification of an impulse digitizer for HV tests. CIGRE Symposium, Mexico City, Mexico. September 11, 1989.

McComb, T.R. Digital techniques in HV tests. CIGRE 33-89 (WG03) IWD04, Mexico City, Mexico. September 12–15, 1989.

McComb, T.R. Comparative measurements of HV impulses to evaluate different sets of response parameters. CIGRE 33-89 (WG03) IWD25, Mexico City, Mexico. September 12–15, 1989.

Moore, W.J.M., and Filipski, P. Recent developments in power frequency instrumentation. Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Yugoslavia. June 7, 1989.

Moore, W.J.M., and Filipski, P. Recent developments in power frequency instrumentation. The University of Novi Sad, Novi Sad, Yugoslavia. June 8, 1989.

So, E. Calibration of optical instrument transformers. Panel Session on Utility Applications of Optical Measurements. Power Engineering Society 1990 Winter Meeting, Atlanta, GA. February 4–8, 1990. (Invited.)

Patents

Bamji, S.S., Bulinski, T., and Densley, J. Electrical tree suppression in high-voltage polymeric insulation. U.S. Patent No. 4,870,121. Issued September 26, 1989. NRC 31672.

Miljanic, P.N. Transconductance amplifier with transformer coupled forward feed. U.S. Patent No. 4,884,038. Issued November 28, 1989. NRC 31500.

Miljanic, P.N., and Moore, W.J.M. Current ratio device. U.S. Patent No. 4,841,236. Issued June 20, 1989. NRC 31673.

So, E. Electrical measuring instrument for high voltage power measurements. U.S. Patent No. 4,833,401. Issued May 23, 1989.

Laboratory for Intelligent Systems

Head — M.M.C. Collins

Objectives

Mandate

- To provide, through applied research and collaboration with Canadian industry and universities, intelligent systems technology which will make Canadian industry more competitive in the emerging fields of sensor-based robotics and knowledge-based systems.

Strategic Objectives

- To develop and demonstrate computing and sensor technologies that will provide a foundation for building autonomous systems.
- To acquire and develop computer-based technology for the creation of advanced information systems that provide for the representation, acquisition, and processing of knowledge.
- To encourage industrial exploitation of advanced computer technologies by creating, stimulating, and promoting opportunities for their application.

Operational Objectives

- To establish a national laboratory capability in the field of applied artificial intelligence through the successful completion of projects that are technically challenging and commercially exploitable.
- To develop and demonstrate by 1990–91, in cooperation with Université Laval, Systèmes XA Inc., Price Waterhouse Quebec Information Systems Group, and the University of Leeds, United Kingdom, a prototype of the Intelligent Advisor system.
- To initiate in 1990, in cooperation with MBP Technologies Inc. and Noranda Technology Centre, the development of an advanced real-time expert system for process control as defined in the feasibility study accepted by PRECARN (PRECompetitive Applied Research Network).
- To continue the advancement of parallel system architectures and software methodologies for industrial realtime computing through direct collaboration and technology transfer with Precise Software Technologies Inc., and to complete the transfer of responsibility for the commercial exploitation of the Harmony Operating System[1] under a restructured licence arrangement.
- To continue development of three-dimensional (3-D) measuring techniques and algorithms for 3-D image interpretation. To develop and demonstrate by 1991–92 the simultaneous recording of shape and color of objects and scenes.
- Through formal participation in a PRECARN sponsored project on a mobile robot for nuclear plant application, to transfer the technology of our mobile robot vehicle control and system architecture to the industrial participants from Ontario Hydro and Atomic Energy of Canada Limited (AECL). This activity complements our continued development of the mobile robot for health care applications carried out in collaboration with the Laboratory for Biomedical Engineering.
- To pursue exploratory work in nonlinear optical processing, in particular on 3-D range data, using optical wave mixing in photorefractive and absorbing media. To make available in 1990, in cooperation with the Canadian Marconi Company, an erbium-doped fiber laser for eye-safe laser ranging.
- To continue development of advanced capabilities in robot vision and intelligent control and to demonstrate their applicability in the Special Purpose Dexterous Manipulator (SPDM) subsystem of the Mobile Servicing System (MSS) (Canada's participation in the American Space Station) in partnership with industrial teams involved in such development under the Strategic Technologies for Automation and Robotics (STEAR) program.
- To collaborate with Spar Aerospace Limited in the development and evaluation of suitability of the wrist-mounted range camera for robot vision in the space station environment.

[1] Mark reserved for the exclusive use of Her Majesty the Queen in right of Canada by Canadian Patents and Development Ltd.

Program Description

The Laboratory for Intelligent Systems is made up of three sections in Ottawa, Computing Technology, Information Technology, and Photonics and Sensors, and a fourth section, Robotics and Automation, in Winnipeg. The latter is part of the Canadian Institute of Industrial Technology (CIIT). The Laboratory undertakes applied research which is contributing to the effective exploitation of advanced computer-based technologies.

Advanced automation technology requires machines which are able to adapt their behavior in response to a changing environment and to changing task demands. Technical advances are required in sensory perception, decision, and control. Each of these areas is being actively investigated. The component technologies will be integrated into intelligent functioning systems through the techniques of applied artificial intelligence.

Work on sensor development is being pursued in the Photonics and Sensors Section where the effort is concentrated on 3-D machine vision and guided wave optics. Applications of the patented 3-D vision techniques are being pursued jointly with industry and other partners. A random-access laser scanner is being designed and built for space applications. An RGB laser will be integrated to one of the camera prototypes to demonstrate registered range-color recordings of scenes. Effort is being placed on image segmentation and representation aiming at a 3-D machine vision system that will not only acquire the image data but also analyze the scene. Work is being pursued on guided wave optical sensors and on optical signal/image processing with elements in collaboration with numerous outside partners.

The area of sensor-based robotics is the responsibility of the Computing Technology Section. This research addresses problems and technology in the context of both robot arms and mobile vehicles. Central to this work is the Harmony multiprocessor computing architecture that was developed specifically for applications in complex industrial realtime control, such as in robotics. The techniques of 3-D measurement have been adapted in the form of a compact wrist-mounted camera for experimentation in robot vision and control. The control system architecture development emphasizes versatility and flexibility in integrating multiple sensors for intelligent control.

The Information Technology Section is focusing on applied artificial intelligence with emphasis on knowledge-based systems/expert systems. Activities include work on engine health monitoring, machine learning, realtime expert systems, and the development of an expert tutor system. Because of the applied nature of this project, collaboration with intended users is an important aspect of all of the work.

As part of the CIIT in Winnipeg the Robotics and Automation Section is devoted to working with industrial partners. Current projects are in the areas of sensor-based robotics, computer-aided production and inspection, and knowledge-based systems. Closer ties to the Ottawa sections of the Laboratory are being developed in order to extend the base of expertise available.

Technology Transfer

- Harmony is an advanced operating system with good commercial potential in a world market. Previous efforts to market this technology have had only limited success. Through a restructuring by one of the original licensees a new company, Precise Software Technologies Inc., has been formed to pursue a product strategy based entirely on Harmony. This promises to significantly strengthen the commercial availability, distribution, and support of Harmony, and members of the development team are collaborating with the company towards this end.

- A technique developed last year called "differential inspection" is being offered by Hymarc Ltd. to its customers. The technique allows the measurement of very small (~5 μm) dimensional changes of an object with time.

- Following the successful completion of a production version of the single-axis wrist-mounted scanner for robot vision, Servo-Robot Inc. is developing a plan to undertake the commercial production of the new two-axis wrist-mounted camera.

Collaborative Programs

- The Intelligent Advisor project is continuing in cooperation with Systèmes XA Inc., Price Waterhouse and Université Laval in Québec, and the University of Leeds in the United Kingdom. This system aims to provide advice tailored specifically to a user's immediate goals.

- The prototype diagnosis and troubleshooting advisor for acceleration faults on the J85 jet

engine is being extended to a full scope prototype suitable for field testing. This is a joint project with the Engine Laboratory of the Division of Mechanical Engineering, supported by the Department of National Defence.

- The Laboratory is participating with MPB Technologies Inc. and Noranda Research in a PRECARN project applying realtime expert systems to process control. The first demonstration will be control of a copper–zinc flotation cell.

- A feasibility study on mobile robots was carried out under PRECARN by an industrial team led by Ontario Hydro and AECL. Their interaction with our mobile robot for health care project during the course of the study has resulted in an invitation for active participation on the team in the four-year development and implementation phase that is to commence in spring 1990. Our immediate role involves the transfer of our vehicle control and system architecture technology to provide an advanced starting point for their mobile platform. Subsequent collaboration will emphasize the development and application of sensory function and intelligence for navigational guidance and control.

- As a follow-up to the preliminary assessment of range vision carried out jointly with Spar Aerospace Limited, a two-axis wrist-camera will be constructed for Spar under a contract agreement and will be evaluated jointly for robot vision applications in the SPDM subsystem of the MSS.

- Exploratory work in optical processing and sensing has begun to generate commercial interest. Prototypes of components for eye-safe 3-D vision systems have been completed. A new lateral effect photodiode operating at 1.5 μm has been designed, built, and tested in collaboration with RCA in Montreal. A high-power erbium-doped fiber laser has been demonstrated. Collaboration with the Canadian Marconi Company and the University of Ottawa on an electro-optic field sensor, in particular on its system implementation, continues.

- Since the establishment of the STEAR program by the Canadian Space Station Program Office (CSSPO), this Laboratory has been collaborating in the formulation of requirements, evaluation of proposals, and monitoring of industrial contracts. Following the completion of concept design studies carried out under competition by industry, the Laboratory will be collaborating directly with those companies who have been selected for carrying out the development phase of the program.

- A collaborative project has started with the Canadian Conservation Institute for the development of a range-color camera.

Computing Technology Section

Head — N. Burtnyk

Introduction

Future generations of robots will be intelligent autonomous systems which, through the use of sensory perception, will carry out the necessary reasoning and planning processes to adjust their actions. This increased flexibility will extend the range of applications into new areas that go well beyond the factory floor, especially in difficult and hazardous environments such as space, subsea, mines, and forestry where understanding the environment and dealing with unexpected situations are of paramount importance.

The research activities of this Section are directed at this longer-term goal of autonomous systems. Progress towards these advanced capabilities requires significant technical advances on several fronts. Work in the Section addresses the development of these technologies under three projects: Multiprocessor Architectures for Realtime Control, Sensor-based Robotics, and Mobile Robot for Health Care Applications. The latter project is a collaborative undertaking with the Laboratory for Biomedical Engineering. Work in our group emphasizes the generic technology of autonomous vehicles. Development of the health care application is primarily the focus of the Medical Engineering Section whose work is described elsewhere in this *Bulletin*.

Multiprocessor Architectures for Realtime Control

W.M. Gentleman, J.V. Kelley, S.A. MacKay, D.A. Stewart, M. Wein, C. Gauthier[1]

The Harmony Realtime Operating System

The long-term goal of the project is to contribute to the development of architectures for parallel computing intended for industrial realtime control applications, with emphasis on software engineering and tool development. One specific goal is the continued evolutionary enhancement of the Harmony Operating System in order to broaden its domain of applicability and to strengthen its commercial impact. A broader thrust of the project is the development of methodologies for more efficient production of realtime software through better software engineering (e.g., the use of software components).

The Harmony technology and, in particular, the Harmony Operating System have been developing in this laboratory since 1982 and continue to be enhanced and extended. Outside NRC, the operating system has been available on a beta test arrangement almost since inception and has been commercially available through four primary licencees for several years. It has been used in several projects at the University of Waterloo, Carleton University, the Royal Military College, and Queen's University and has also been obtained by other universities. A variety of industrial users have acquired Harmony for possible use internally or in future projects, and products utilizing it are now beginning to appear. The community of users provides important feedback on the evolution of Harmony with respect to extensions and enhancements that are needed and on deficiencies in the existing system.

Progress Toward Release 4.0

The next major release of Harmony, Release 4.0, is due in the fall of 1990. The new features that will be available include:

- Full support for the use of the Apple Macintosh Programmer's Workbench (MPW) Versions 2 and 3 as Harmony development environments.
- Support for two new target systems, the Golden Triangle FirePower single board computer (SBC) and the GreenSpring SpringBoard SBC. Both of these systems are NuBus™ boards for the Mac II and are part of an ongoing effort to examine issues in tightly coupled host/target environments.
- Support for the emerging ANSI C standard, including many ANSI C library functions.
- The Multi-Device Emulator (MDE), intended to support advanced user interfaces to realtime control systems, has been enhanced and is undergoing evaluation.
- The Harmony debugger has been enhanced with a memory checker and history buffer mechanism.
- Operating system level floating point support has been added to meet the needs of applications, while addressing realtime issues.
- The Harmony source tree continues to be restructured to minimize redundancy. The

[1] Guest worker.

most recent change allows for greater sharing of sources and objects between tools and Harmony applications.

The "thinwire" version of Harmony, which will support systems in which the processors are unable to share memory, has been designed and implementation has begun. It will be made available in a subsequent release.

Evolution of Source Management System

The Harmony source tree is structured differently from conventional systems due to the demands of embedded systems. These requirements include the need to be portable across both the development and target systems, to simultaneously maintain and evolve many versions of each application, to integrate efforts on development hosts that are loosely coupled, and to integrate efforts of developers who may be from different organizations.

Two aspects of the Harmony source management approach (called Database and Selectors Cel, or DaSC) are key to coping with these issues. The first is that source code is regarded as a database, from which items are selected to form a particular instantiation of a program. This database is structured as a tree, and the selectors corresponding to different instantiations are also structured as trees. The second is that development is done with files in sparse trees parallel to the base tree, which can be overlaid on the base tree to give the developer the perception of the composed tree as a set of layers. However, the relationships defined by the different trees are not lost until an actual consolidation is done.

Two new source management tools have been developed to automate parts of the software engineering process and to experiment with graphical user interfaces. One is "derive," a tool which creates a file of selectors from a composed view of the source database. The second tool is "consolidate," which collapses a set of layers into a single layer. Both are supported in the Macintosh development environment.

Collaboration with Universities

Collaboration with the University of Waterloo has continued. Following the completion of the M.Math. project "Design Experience with a Multiprocessor Window System Architecture" by J.V. Kelley, two M.Math. students at the University are being supervised by M. Wein. The topics are visualization of tasking structures and user interfaces. W.M. Gentleman is co-supervising C. Gauthier, a Ph.D student in Electrical Engineering at the University of Ottawa. The initial activity is in Harmony thinwire architecture where the memory is not accessible between processors.

Collaboration with Industry

Responsibility for the commercial exploitation of Harmony has been transferred to Precise Software Technologies Inc., Ottawa, Ontario, which was formed by several former employees of DY-4 Systems Inc. as a result of restructuring at DY-4. The current plan for this new company is to derive its entire product line from Harmony technology. This restructuring will provide Harmony distribution and support for processor systems from manufacturers other than DY-4 Systems. Such support is desirable because the other distributor, P-Can Research Inc., is no longer in operation. Members of the Division are collaborating with Precise Software in the area of porting to the Macintosh-based boards (see above).

Publication, Documentation, and Popularization

Documenting a production software system is considerably more than traditional academic presentation of results. The need for documentation and publicity is addressed through several media. Conventional publication in academic journals and at academic conferences is one. Several new technical reports are available. DEE/ERB-1011 reviews issues that affect the design and evolution of realtime applications on multiprocessors and discusses the way they are addressed by Harmony. DEE/ERB-1024 and DEE/ERB-1025 describe problems using conventional tools to configure realtime systems and discuss alternative approaches. Five Application Notes have been added to the Application Note Series. The new notes cover compatibility with, and support for, ANSI C, consolidation procedures, and architectures of single-board computers for Harmony.

Sensor-based Robotics

The aim of this project is to develop competence in the elemental technologies of sensor-based robotics and to demonstrate their integration into systems for operating in unstructured environments. The technical areas in which the main emphasis has been placed are the development and application of range sensing for robot vision and the development of a multiprocessor system control environment for multiple-sensor multiple-arm integration. The previous work in autonomous task planning has been terminated in recognition of

the difficulty in dealing with an unstructured environment. At this stage, it is believed that solutions to the problems in perception and understanding for such environments are beyond practical realization by an autonomous system for at least the next decade. In any case, applications that involve an unstructured environment usually require a human operator. Consequently, work has begun on the development of a supervisory control concept where the operator uses human perceptual and planning abilities to supervise robot activity. One of the major target applications for this project is the dual-arm Special Purpose Dextrous Manipulator (SPDM) subsystem in the Mobile Servicing System of the Canadian Space Station Program Office.

Robot Control

Dual-arm Control Environment

S. Elgazzar

A configurable and adaptable robot controller has been in development in this laboratory since 1987 and continues to be enhanced and extended in the direction of dual-arm operation. This extension is based on Kali, a McGill University derivative of RCCL, which was ported in cooperation with McGill to run in the Harmony environment. The current implementation drives two PUMA 560 arms that are used for experimentation in multiple-arm control.

Figure 1 shows the current Harmony task structure for this control environment. The dual arm system operates in two modes. In the synchronized mode, each arm acts independently but at certain times checks on the status of the other. In the coordinated mode, both arms are bound by shared kinematic constraints, such as two arms grasping and moving the same object. For synchronized motions, the trajectory generator must interpolate trajectories for each arm. For coordinated motions, only the object trajectory needs to be calculated and then transformed into the appropriate frame for each arm. Two monitor tasks communicating with the trajectory generator are used to implement the transition from one phase to the next. At the user level, two primitives have been defined. The first, called "merge," sets up a monitor task that waits for each arm to finish its last motion before combining their motion systems. In this way, they will be synchronized before the next phase of the operation. The complement to "merge," "split," creates a task to wait for the end of the coordinated motion before splitting the single motion system into two motion systems, freeing both arms so they can act independently.

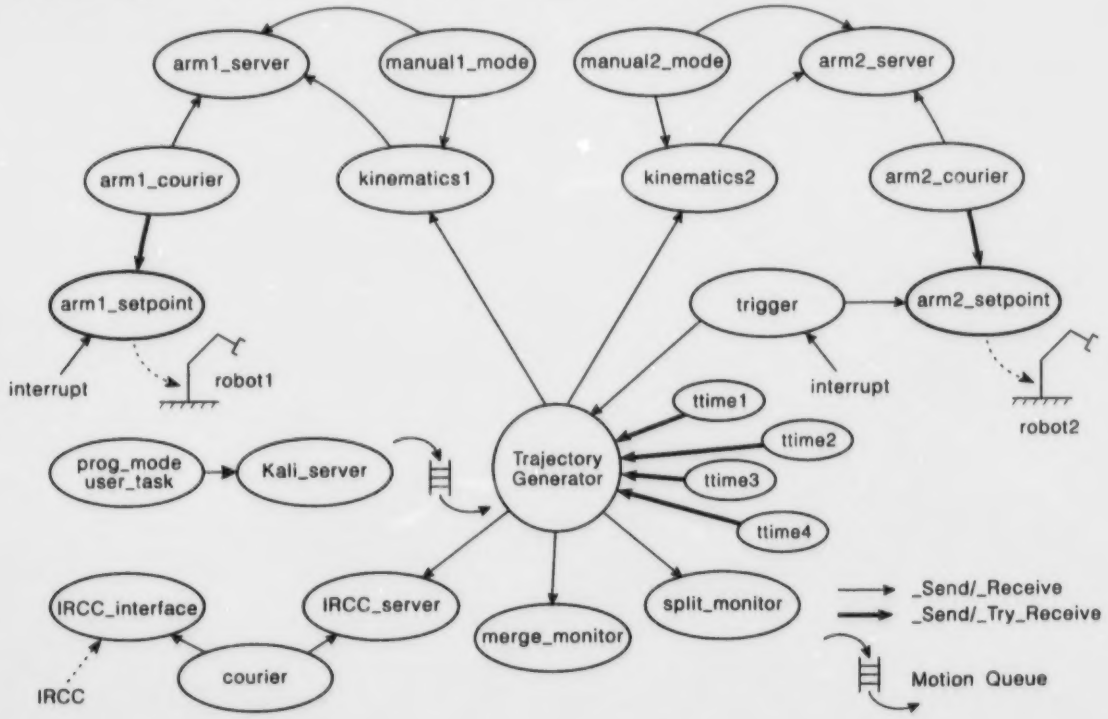


Figure 1. Harmony task structure of the two-arm controller.

Although this structure is functional, much of the original in-line task structure of RCCL still remains and total restructuring needs to be undertaken to realize the full advantage of the multitasking capabilities of Harmony. This will need considerable redesign and rewriting of the code, but will result in an object-based architecture for robot control with good correspondence between the objects and the functionality of the physical system.

Supervisory Control for Unstructured Environments

J.S. Basran,[1] N. Burtnyk

Current applications of robotics that must deal with an unstructured environment are forced to rely on teleoperation. A supervisory control mode for telerobotics is being developed to support semi-autonomous operation in an unstructured environment. In this concept, the operator uses his own abilities of perception and understanding to help the robot build a structured model of the actual environment.

An experimental version of the supervisory system is shown in Fig. 2. The operator views the environment through a pair of video cameras and communicates information about the location, orientation, and identity of objects and other components that are relevant to the desired task. The robot is instructed to move in this environment (based on the approximate model that has been generated) and, through machine vision sensing, to refine the locations and orientations of the components of the model. The severity of the machine vision problem represented here is much more constrained than with a completely unknown environment. The operator also instructs the robot to perform a sequence of task steps using sensor-based skills, where the level of task decomposition is controlled by the operator in accordance with the repertoire of skills and the complexity of the task.

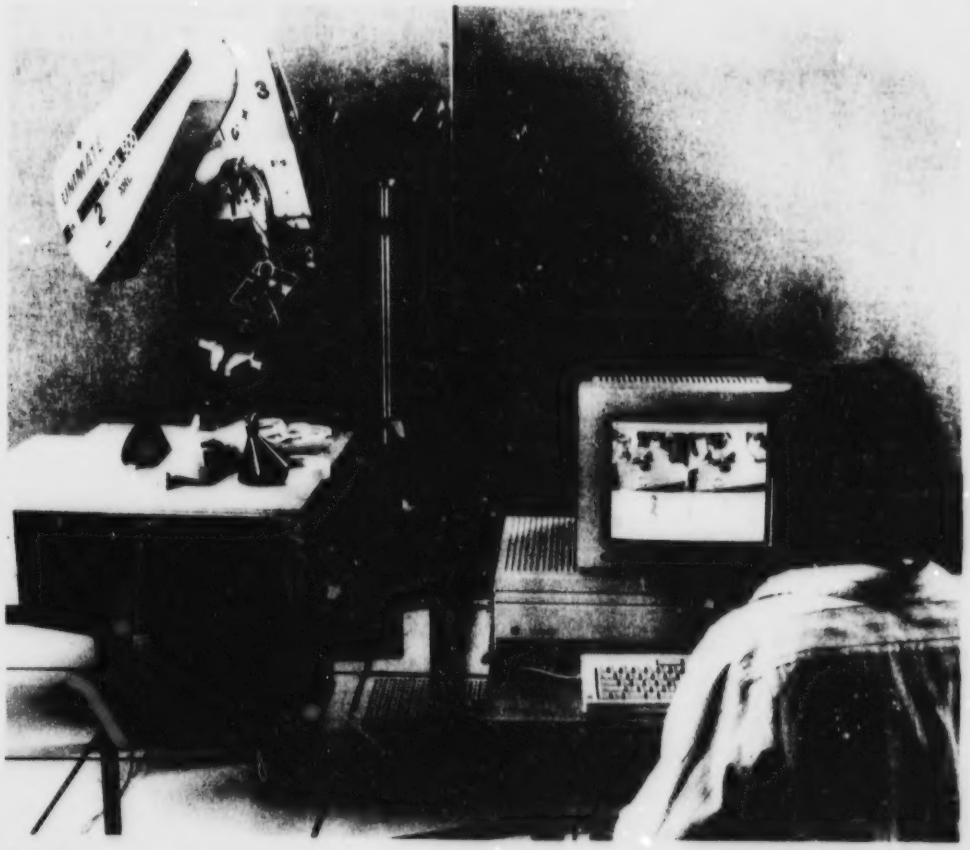


Figure 2. Robot operating under supervisory control. The essential components added to the robot are a pair of video cameras for viewing the environment, a wrist-mounted range camera for machine vision, and a supervisory computer with an appropriate operator interface.

[1] Guest worker.

Initial emphasis has been on the investigation of the operator interface and the integration of machine vision to verify concept feasibility. Path planning, with collision avoidance and enhanced representation of the task model, will be addressed in the next phase.

Robot Vision

Dual-axis Wrist-mounted Range Profile Scanner

G.H. Bechthold, C. Archibald

Two prototypes of the new two-axis scanner were completed during the past year, for NRC and for McGill University. Scanner control software has been written and tested and the scanners calibrated. During the commissioning of the rangefinder, testing of the unit revealed a problem of accuracy in the *Y*-axis drive. Although it has good repeatability if the same approach path is followed, it suffers in absolute accuracy when the approach is varied. An encoder is being added to solve this problem.

Current rangefinders use a helium–neon laser as the light source. The optical path includes an acousto-optic modulator and an optical fiber to transmit the light to the scanner head at the wrist of the robot arm. They form a costly and somewhat fragile part of the system. With the recent introduction of higher power visible laser diodes, it has become feasible to consider their use as a replacement for the existing light source. The solid state laser diode can be directly modulated and is sufficiently small to be directly mounted on the scanner. Laboratory tests are underway to evaluate its suitability for use in the scanner. If it is found to be satisfactory, it will be incorporated in the existing units.

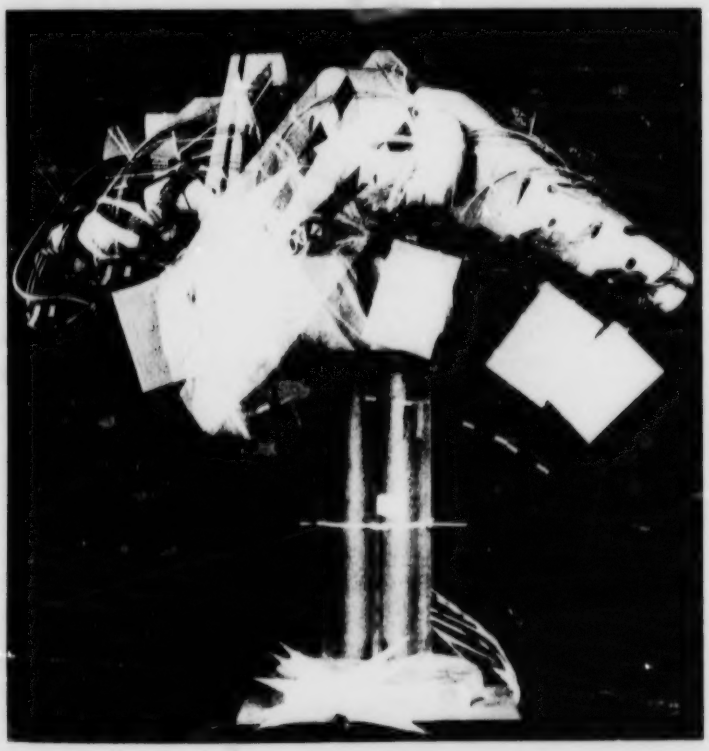


Figure 3. Multiple exposure of object tracking using a wrist-mounted range scanner.

Realtime Tracking of a Moving Object

C. Archibald, S. Venkatesan[1]

Tracking a moving object in 5 degrees of freedom using two cross-mounted range profile scanners has been achieved. A constant pose of the robot end effector is maintained with respect to a flat moving object. The time sequence photograph in Fig. 3 shows the robot tracking a moving object. Tracking at linear and angular velocities of 25 cm/s and 25°/s, respectively, has been achieved. The acceleration/deceleration and the maximum speed of the robot trajectory can be varied depending on the desired behavior of the robot. The tracking was implemented on a multiprocessor architecture running the Harmony Operating System. Four MC68020 processors are used in parallel to collect the range data, make a decision on where to move the robot, and actually control the robot in realtime. Range data are collected every 37 ms and a robot motion is sent every 28 ms. The Harmony tasks were written to meet these asynchronous realtime constraints.

Based on this success, research on grasping of moving objects is beginning.

Pose Determination of Known Objects

C. Archibald, C. Merritt

Pose determination of a satellite grapple fixture using sparse range data was reported in the last *Bulletin*, 3(3). This has been extended to determine the pose of any known object that can be modeled using edges. Edge points are extracted from the sparse range data using a specially designed edge detector. These edge points are matched to the model of the object using a tree search algorithm which is constrained by the geometry of the object. When the edge points are matched to the model, the transformations from the local coordinate system of the range finder to the model can be calculated to obtain the pose of the object.

[1] Guest worker.

The objective in this project was to partially automate tasks being performed by teleoperation. With recent emphasis on supervisory control of robots, the problem of pose determination becomes one of pose "refinement." Based on what was learned in the pose determination investigations, algorithms to refine the estimate of the pose of known objects are now being developed.

Pose Refinement

C. Merritt, S. Elgazzar

The objective of pose refinement is to find the actual position and orientation (pose) of an object in the robot environment, given its approximate pose. Data from the laser range finders mounted in a cross configuration at the robot wrist are being used. Refinement requires determining the translation and rotation which transform a coordinate frame defined within a model of the object to its location in the robot environment.

The method uses the estimated pose of the object to estimate the corresponding object surface for each data point. The refinement algorithm then finds the rotation and translation values which minimize the overall distance of the data points to those surfaces using an iterative procedure. Implementation of the method has been completed. It remains to examine the behavior of the algorithm, particularly in order to determine how much error in the original estimate of the pose can be tolerated for the solution to converge.

Robustness in Vision

G. Roth

Interpretation of sensor data is a key issue in robotics and computer vision. Many previous approaches lack robustness, which can be loosely defined as the ability to deal with missing and extraneous data. The reason is that the least-squares method is the basis for these solutions in problem areas such as object recognition, pose determination, and multi-view integration. Although the least-squares approach is simple to implement and well documented, it has long been known that algorithms based on it are not robust.

This research, which is part of a collaborative project with the robotics and computer vision group at McGill, aims to overcome these limitations. The key insight is that although the computational price for robustness may be high, it is often less than expected. The concept of random sampling has been used to produce a robust algorithm for the extraction and correspondence of geometric primitives. The random sampling concept is that a minimal subset of a set of points is often a good estimate of the characteristics of all the points. It has been shown that the application of this concept can be used to make any algorithm which is based on the least-squares approach more robust.

Extraction means finding primitives in sensor data, where a primitive is defined analytically (e.g., line, sphere, etc.). The ability to extract geometric primitives from both two- and three-dimensional range data has been demonstrated. This extraction is essential for problems such as robot navigation and object recognition. The next step is to show that the same approach can be applied to the primitive correspondence problem. The correspondence between geometric primitives is the basis of any pose determination and pose refinement algorithm. The robust correspondence method will make such algorithms much more practical since they will operate successfully over a much wider range of input conditions.

Mobile Robot for Health Care

This project is a collaborative project involving personnel from the Computing Technology and Medical Engineering Sections. The Medical Engineering effort, which is primarily concerned with the health care applications of mobile robot technology, is described elsewhere in this *Bulletin*. In the Computing Technology Section, the principal effort to date has been to develop a fully integrated, expandable operational system that will form the basis for advanced research into sensor-based navigation.

General Developments

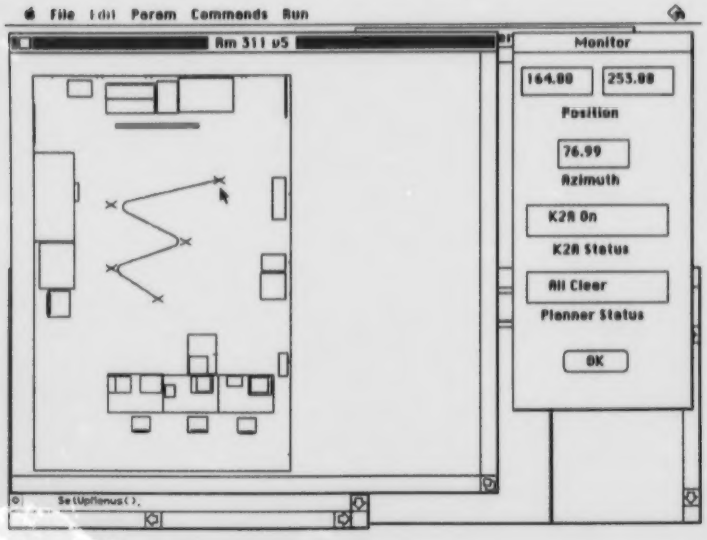
D.A. Green, R. Liscano

The NRC has been invited to become an active participant in a mobile robot project supported by PRECARN. The collaborators include Ontario Hydro, Atomic Energy of Canada Limited, the University of Toronto, and York University. Initially, NRC will be involved in the transfer of vehicle control and system architecture technology to the other participants who intend to concentrate on the development of an active vision system for vehicle navigation. Visits and discussions have also been held with professors and graduate students at several universities regarding research collaboration.

This year, realtime collision prevention has been demonstrated. As before, a user communicates destination points to the vehicle through a simple graphical interface (Fig. 4). However, an active range sensor that is used to recognize the presence of objects in the path of the vehicle has now been integrated. When an object is detected, the vehicle stops and will only resume its motion when the object is removed or the vehicle is reoriented such that the obstacle no longer presents a hazard. A principal component within this demonstration is a new system architecture that is both event driven and expandable.

In the previous *Bulletin* it was stated that a methodology for generating motion trajectories had been developed based on the use of "clothoid" transition curves. That method has been refined to remove errors that became evident with use. A report is being prepared that gives a detailed description of the computation of clothoid pair transition paths. Other developments include improving the user interface to the system, upgrading the entire runtime environment to Harmony Release 3.0, and undertaking a major reorganization of the software development environment to take full advantage of the new configuration management scheme developed by the Harmony group.

Figure 4. Mobile robot control panel now shows room graphics, the path traveled by the vehicle, the vehicle position, the current vehicle status, and the status of the _control_server.



System Architecture

D.A. Green, R. Liscano

Initially, the system architecture for the vehicle principally addressed the requirements at the control level. As the first range sensor was integrated, it became necessary to expand the system architecture beyond the vehicle control function. "Servers" are used extensively to manage system resources. As Fig. 5 illustrates, the _k2a_server provides a specific abstraction for direct vehicle control, the _control_server is a state-based controller that manages the various motion requests for the vehicle mainly from higher levels in the control hierarchy, and the _slit_server provides a convenient interface to other tasks that require scanner range data.

More fundamental was the recognition that this system is event driven. This means, for example, that when the _k2a_server recognizes a change in mode of the vehicle (on, off, driving, etc.) or perhaps an error condition occurring locally, then this event is conveyed automatically to the _control_server which uses this information to update the state of the system. This change in state affects the manner in which a command is processed and it may also trigger a buffered command waiting for that state to occur.

To implement this, the Harmony connection mechanism for servers was modified so that a task can now open one of three types of connections to a server. This design is expandable. As other range sensors are developed, they can be integrated into this architecture in a complementary manner using the same event mechanism. In addition, high-level mapping applications that in the future will make use of the range sensors will not interfere with this design.

Laser Range Sensor

D.A. Green, R. Liscano

Over the past year, effort has continued in the development of an on-board active laser range sensor. The "slit scanner," which provides range data through triangulation, has been described previously. This year, the device was integrated experimentally into the multiprocessor architecture with new experimental hardware and a Harmony server. The _slit_server interfaces the sensor to the runtime Harmony system. The mechanical drive of the scanner was replaced with a robust reciprocating cam drive and the laser optics were improved to provide better signal characteristics. Besides providing range data, the server also issues event messages to the _control_server that warn of potential collisions ahead. In anticipation of future requirements for the server, it was decided to integrate vehicle position data into the _slit_server in order to support mapping applications. Finally,

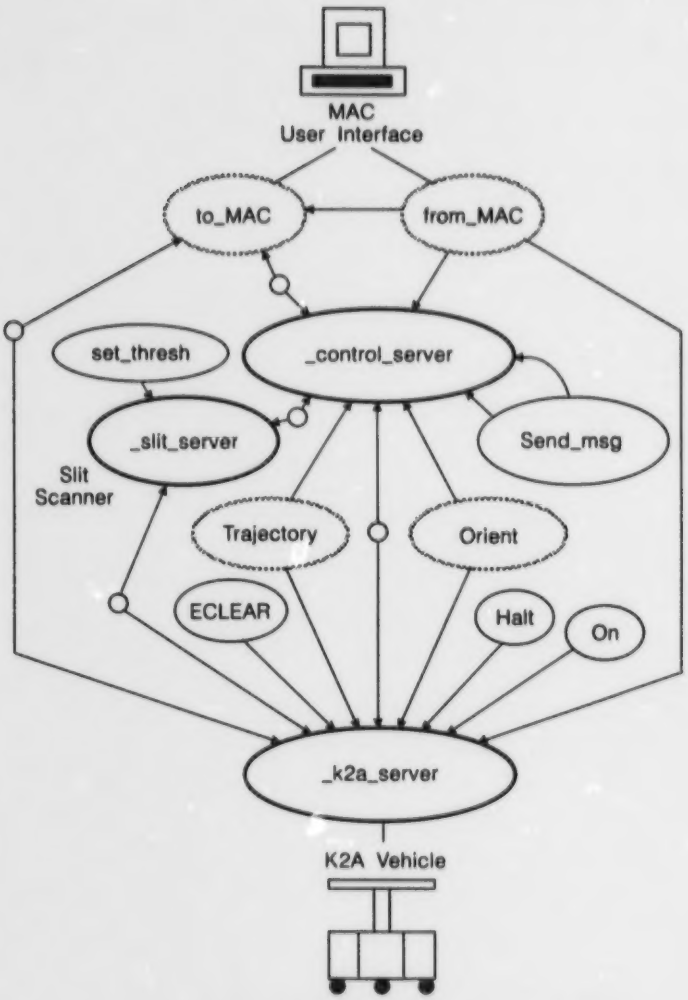


Figure 5. The task configuration of the system is now composed of three servers and a number of intermediate tasks that relay and may process information between the servers.

some preliminary experiments were conducted in the interpretation of range data obtained from this device. This effort focused on extracting object perimeters from raw data for obstacle detection and avoidance purposes.

Stereo Vision

S.H.Y. Hung

Stereo vision is being investigated as one of the possible sensors for the mobile robot. The major objective is to extract range information and demonstrate its usefulness in interpreting the environment for navigation of the mobile robot.

Two compact CCD cameras with 16-mm lenses have been used to provide images of an ordinary office scene for experimentation. Each image is digitized into 480 pixels by 640 pixels of 256 grey levels. Two approaches have been applied to process these images for obtaining 3-D information. The objective is not a detailed description of the environment, but a quick way to determine free space for mobile robot navigation.

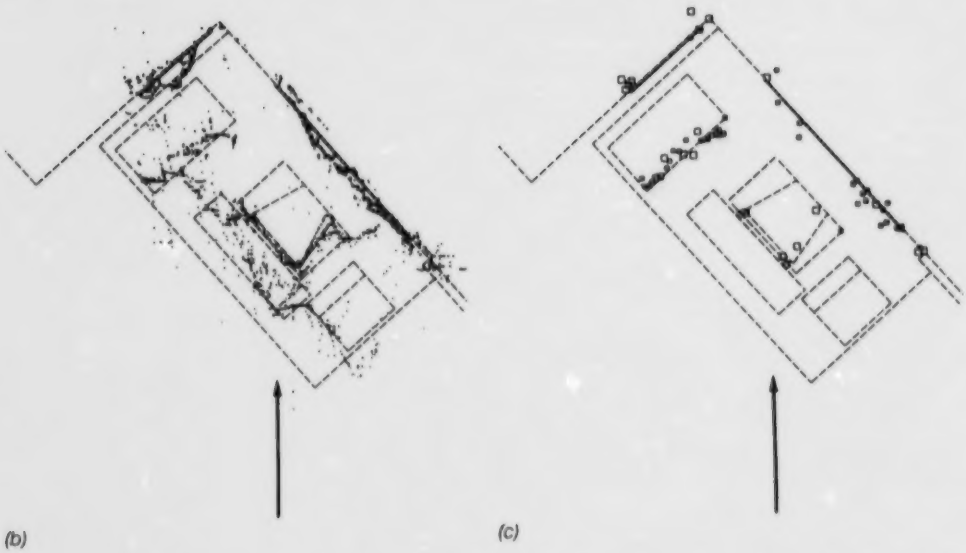
The first approach involves a point-by-point matching between edge points in corresponding scan lines. The 3-D data thus obtained are registered with the right-hand image and converted to the global coordinate system. The result is stored as a set of 3-D data and can be viewed from any angle desired. This approach matches most of the near-vertical lines extracted by the edge detector with reasonably good accuracy. The combination of all matched points gives a 3-D sketch of the real scene of the area covered by the pair of images. Results from a series of adjacent stereo pairs can be combined to give coverage for a bigger area.

The second approach is to match between edges that are extracted from the two images. The matching only applies to the edges with a length longer than a preset threshold. The resulting 3-D information is used to derive the map of possible occupied space.

Figure 6 compares the two approaches. Figure 6(a) is an image of a corner of an office. Figure 6(b) is the top view of the range data of all matched points obtained by the first approach. Figure 6(c) is the range data extracted by the second approach showing all near-vertical edges with a length longer than 20 pixels; the size of the square reflects the length of the edges. The first step in interpreting this data is to identify which edge features bear correspondence to the floor plan. Following this, the use of the information by the robot to understand its position in the environment will be investigated.

Collaboration with CIIT on the topic of The Integration of Environment Information for Improving the Matching Procedure of Stereo Vision has been established. The possible benefit from this collaboration to this project is to minimize the possible mismatches. This will provide better 3-D data for interpretation in later steps.

(a)



(b) (c)

Figure 6. Extraction of range data by stereo computation: (a) Image of actual scene; (b) Range from point-to-point matching of edge data; (c) Range from matching between extracted vertical edges. Plot of range data is superimposed on floor plan layout.

Recent Papers

Published

Archibald, C., and Amid, S. Calibration of wrist-mounted range profile scanner. Proceedings of Vision Interface '89, London, Ont. June 19–23, 1989. pp. 24–28. NRC 30182.

Archibald, C., and Merritt, C. Wrist-mounted range profile scanners and applications. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston, Ont. August 8–11, 1989. In press. NRC 30600.

Archibald, C., and Merritt, C. Pose determination of known objects from sparse range images. Proceedings of the 2nd Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, The Netherlands. December 1989. Vol. 1, pp. 185–195. NRC 30749.

Elgazzar, S., Liscano, R., and Green, D. Realtime control of autonomous robots using the Harmony Operating System. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston, Ont. August 8–11, 1989. In press. NRC 30568.

Evans, K.B. Head mounted displays for telepresence and workstations. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston, Ont. August 8–11, 1989. In press. NRC 30572.

Evans, K.B., and Shepertycki, T.H. Graphic task programming for robots in unstructured environments. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston, Ont. August 8–11, 1989. In press. NRC 30536.

Evans, K.B., and Shepertycki, T.H. Task programming environment for robotic assembly. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, P.Q. September 17–20, 1989. pp. 195–198. NRC 30537.

Gentleman, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vancouver, B.C. November 3–4, 1988. pp. 823–827. NRC 30632. (Invited.). *Published as* NRC/ERB-1024, November 1989. 7 pages. NRC 30938.

Gentleman, W.M. Realtime Applications: Multiprocessors in Harmony. NRC/ERB-1011, August 1989. 10 pages. NRC 30692.

Gentleman, W.M., MacKay, S., Stewart, D., and Wein, M. Commercial realtime software needs different configuration management. Proceedings of 2nd International Workshop on Software Configuration Management (SCM), Princeton, NJ. October 24–27, 1989. *Published in* Software Eng. Notes, 17(7): 152–161; 1989. NRC 30695. *Published as* NRC/ERB-1025, November 1989. 11 pages. NRC 30939.

Green, D., Liscano, R., and Wein, M. Real-time control of an autonomous mobile robot using the Harmony Operating System. Proceedings of the Fourth IEEE International Symposium on Intelligent Control, Albany, NY. September 24–26, 1989. pp. 374–378. NRC 30554.

Hung, S.H.Y. A description of the environment from the data of stereo vision assisted by a single sonar sensor. Proceedings of the International Workshop on Sensorial Integration for Industrial Robots: Architectures & Applications, Zaragoza, Spain. November 22–24, 1989. pp. 291–299. NRC 30888.

Kelley, J.V., Booth, K.S., and Wein, M. Design experience with a multiprocessor window system architecture. Proceedings of Graphics Interface '89, London, Ont. June 19–23, 1989. pp. 62–69. NRC 30286.

Liscano, R., and Green, D. Design and implementation of a trajectory generator for an indoor mobile robot. Proceedings of the IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems '89, Tsukuba, Japan. September 4–6, 1989. pp. 380–385. NRC 30452.

Nickerson, S.B., Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., and Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, P.Q. September 17–20, 1989. pp. 49–52. NRC 31292.

Nickerson, S.B., Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., and Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston, Ont. August 8–11, 1989. In press. NRC 31293.

Roth, G., and Levine, M.D. Range image segmentation based on differential geometry and refined by relaxation labeling. Proceedings of Vision Interface '89, London, Ont. June 19–23, 1989. pp. 10–15. NRC 30287.

Roth, G., O'Hara, D., and Levine, M.D. A holdsite method for parts acquisition using a laser rangefinder mounted on a robot wrist. J. Robot. Syst. 6(5): 573–599; 1989. NRC 31283.

Stewart, D.A., and MacKay, S.A. (Editors). Harmony Application Notes (Release 3.0). NRC/ERA-378, February 1989. 82 pages. NRC 30082.

Venkatesan, S., and Archibald, C. Three degree of freedom tracking in real time using a wrist-mounted laser range finder. Proceedings of the 2nd Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, The Netherlands. Vol. 1, pp. 386–392. 1989. NRC 30886.

Presented

Archibald, C. Sensor based robotics at NRC. Remote Manipulator Systems Division, Spar Aerospace Ltd., Weston, Ont. March 23, 1990.

Archibald, C., and Merritt, C. Wrist-mounted range profile scanners and applications. Range Image Understanding Workshop, London, Ont. June 19, 1989.

Burtnyk, N. Towards autonomous capability for the SPDM. CASI Symposium on Space Station, Ottawa, Ont. November 8–9, 1989.

Gentleman, W.M. Hypercard. CRAD High Order Language Meeting, National Defence Headquarters, Ottawa, Ont. May 10–11, 1989.

Gentleman, W.M., and Feldman, S.I. Portability — a no longer solved problem. CRAD High Order Language Meeting, National Defence Headquarters, Ottawa, Ont. May 10–11, 1989.

Green, D., and Liscano, R. Technical aspects of the mobile robot project. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. March 27, 1990.

Hung, S.H.Y. Stereo vision for the navigation of mobile robots. Canadian Institute of Industrial Technology, National Research Council, Winnipeg, Man. August 4, 1989.

Information Technology Section

Head — J.W. Brahan

Introduction

The Information Technology Section conducts research and development in the area of applied artificial intelligence with a focus on knowledge-based systems. The projects that make up the Section's program of work are directed towards the development of knowledge-based system tools and methodologies and their application in response to identified requirements. Emphasis is placed on collaboration with other centers within NRC and outside. Currently, the Section is collaborating with the Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering in the development of an expert system for hardening of electronic equipment against electromagnetic interference and with the Division of Mechanical Engineering's Engine Laboratory in the application of expert systems to engine health monitoring. External collaborators include Laval University, the University of Leeds, Systèmes XA Inc, Price Waterhouse (Quebec Information Systems Group), MPB Technologies Inc., Noranda Technology Centre, and the Department of National Defence. The Section's activities are undertaken within the framework of four main projects: Knowledge-based Systems, Intelligent Advisors, Realtime Expert Systems, and Engine Health Monitoring.

Knowledge-based Systems

W.H. Henneker, S. Abu-Hakima, J.W. Brahan, L.J. Buck, H.I. El-Zorkany, A. Famili, B. Farley, R.A. Orchard, P.D. Turney

The knowledge-based systems project supports the NRC's program in applied artificial intelligence with a range of activities that include the provision of computing resources necessary to a variety of projects involving the representation, acquisition, and application of knowledge, the development of facilities for acquiring and maintaining the content of knowledge-based systems, and the development of user-interface facilities for use in expert systems.

Sun Workstation Network

W.H. Henneker

The network of Sun workstations has been extended to include a Sun-4/280 (32 Mbytes of memory and 1784 Mbytes of disk space) and four SPARCstation-1 systems (each with a minimum of 8 Mbytes of memory and 208 Mbytes of local disk space). The Sun-4/280 acts as a file-serving node in the network where all user directories and third party software are located. Its acquisition has solved the problems concerning disk space allocation.

The original design of the network has proven successful. It is extensible in that new workstations are easily added to the current configuration. This has recently been demonstrated by the introduction of a Sun-3/110 and two SPARCstation-1 workstations from the Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering into the network. The network is flexible in that it supports the workstation equipment of multiple vendors. Laboratory personnel have conducted bench-marking tests with a TCP/IP-based workstation of Digital Equipment Corporation which was added to the network for a short period of time.

During this reporting period, NRC became the Ottawa link to Onet (Ontario network, an ARPA Internet style network, linking various centers involved in the Information Technology Research Centres of Excellence Program). This network connection plus the successful implementation of Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) software on the VM/CMS system of the Division of Informatics has provided section personnel with a working electronic mail environment.

Machine Learning

J.W. Brahan, A. Famili, P.D. Turney

Intelligent MAnufacturing FOreman (IMAFO), an intelligent supervisory system that can monitor the execution of plans in an industrial process planning environment and analyze and explain plan failures, has been designed and implemented. It is primarily intended for industrial environments where planning and decision making are performed hierarchically and is suited for levels of planning and decision making where commands are neither overly explicit nor overly abstract (such as the workcell level in a manufacturing environment).

As its input, IMAFO takes sets of observations which consist of high-level commands (commands coming to a workcell), low-level commands (commands issued by a cell controller), and execution results (information representing the outcome of the execution of the low-level commands). IMAFO analyzes these data and summarizes its findings about the unsuccessful plans. Industrial process planners can use

this summary to refine future plans. Figure 1 illustrates the interaction between IMAFO and a level in the process planning hierarchy.

Version 0.3 of IMAFO, written in ART and LISP, was tested and evaluated. This version analyzed process plans and the results of executing the plans. It detected dissimilarities between plans and results and provided a basic statistical analysis. Following lessons learned from this experience, Version 0.4 of IMAFO was designed and implemented.

Version 0.4 of IMAFO is written entirely in LISP and runs on a Sun workstation. The core of Version 0.4 is a machine learning algorithm which performs decision tree induction. An important feature is the flexibility that it provides for specifying the input data and the type of analysis that is required. In addition, it provides facilities for analyzing the performance of different sets of complex process attributes. These facilities can be useful in process planning optimization.

The ability of IMAFO to learn from unsuccessful plans is currently being tested and evaluated using data generated by a process simulator.

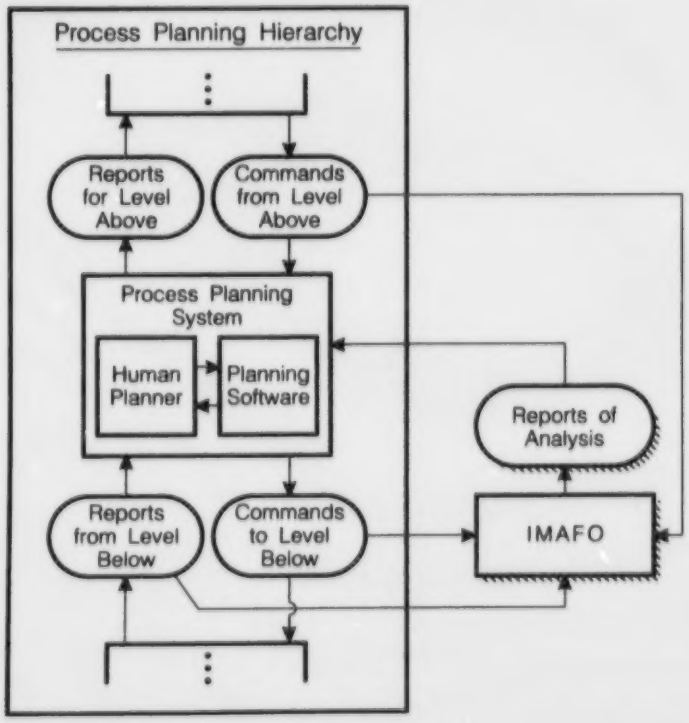


Figure 1. Interaction between IMAFO and a level in the process planning hierarchy.

The goal is to investigate the practicality of integrating IMAFO with a real process planning environment. Figure 2 illustrates the interface and an example of the output of IMAFO.

The application of learning by observation techniques to crime analysis is being investigated. Sample data on residential break-and-enter incidents were supplied by the Ottawa Police Force. Two main paradigms have been examined to date: DUCE, based on formal logic, identifies concepts through simplification of the logic description of the elements that make up the set; UNIMEM is a memory-oriented approach that uses positive and negative reinforcement to identify nodes of related elements. Initial results suggest that meaningful structures can be derived from the data. The effect of noise on the results has been reduced by initial filtering of the data to remove isolated events. Attributes have been preprocessed to avoid biasing the results through overlap of information. While results from DUCE and UNIMEM have shown promise, it has not been possible to achieve the desired level of detail in identifying patterns and so a bottom-up approach was investigated. This provides for identifying incidents in the database that are similar to a target incident. Weights can be assigned to each of the attributes and degree of match can be specified. This technique has been applied to the residential break-and-enter data and demonstrated to be effective in identifying groupings of similar incidents. The prototype is currently being adapted to address other crimes that are recorded in the database and trials of the system with the Ottawa Police Force are planned for mid-1990.

Natural Language Interface for an Expert Tutor

B. Farley

A formal logic grammar for the French language based on Michael McCord's modular logic grammar formalism has been defined. The common forms of indicative and interrogative sentences are now included in this grammar. A syntactic analyzer has been implemented in Prolog. It analyzes written French sentences, decomposes them into a syntactic structure, and produces semantic interpretations of the sentences in the form of logic expressions. An important component of this parser is the analysis of verbs, and a logic program that performs morphological analysis of French verbs has been implemented. With this program, one can analyze any of the approximately 12 000 verbs in any mood, tense, or

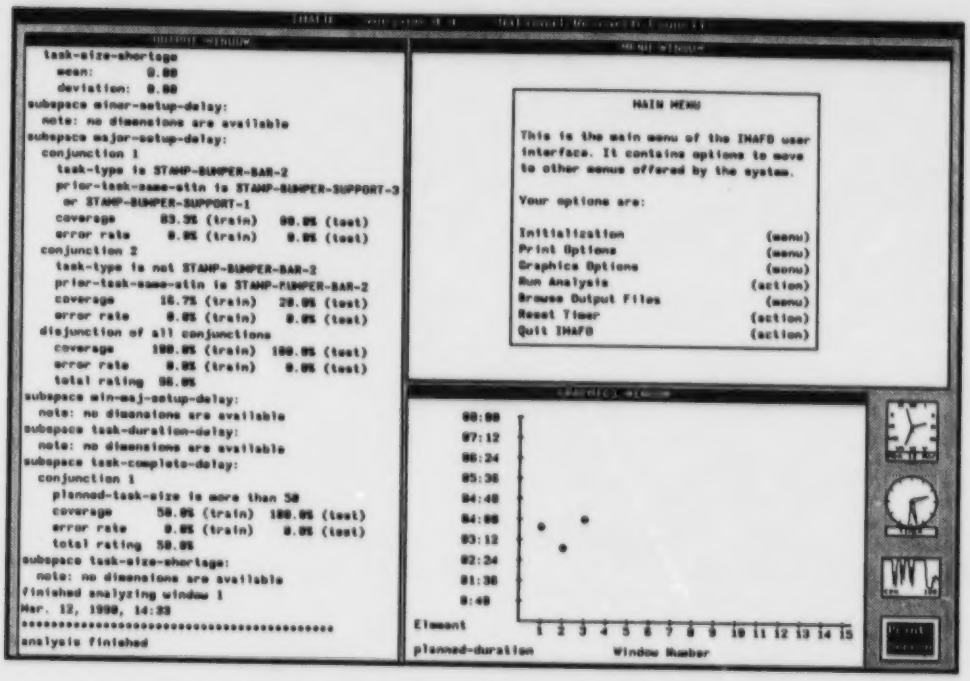


Figure 2. The IMAFO interface and output.

person. A subcomponent analyzes irregular verbs.

This parser is the foundation of a natural language interface that is being developed for the TRILOGY expert tutor system. During the creation of a given expert tutor system, the natural language expressions for the conditions and consequents of the rule base are analyzed and their semantic interpretations are stored in a knowledge base. During the use of a given expert tutor system, the questions and requests of users are analyzed and their semantic representations are processed in an attempt to discover links with those in the knowledge base produced during the creation of the expert tutor system. The inference mechanism which establishes the link between the user's request and the knowledge base is currently being studied but has not been implemented.

The parser, originally implemented on a PC in Arity/Prolog, has been ported to a Sun workstation environment in both BIMprolog and Quintus Prolog. The predicates which differ from one version of Prolog to another have been identified and the calls to these predicates have been replaced by calls to generalized predicates defined in a special file. The parser is more or less independent of the three particular versions of Prolog. Its development is being continued concurrently on the two hardware platforms and in the three versions of Prolog.

Ergonomic Issues in Expert Systems

L.J. Buck

An expert system is built to be operated and used by a person. However elegantly and impressively it may work as an artifactual device, it will be less than well used (and perhaps not used at all) if it does not allow the user to perform his or her task safely and efficiently. This means that the system must be designed with the user in mind, such that it is adapted to the user's requirements rather than requiring the user to adapt to it. The main focus of the question lies in the design of the user–system interface which must allow information to pass accurately and speedily in both directions in the form of displays to the user and control actions to the system. More generally, however, the question requires a consideration of how the system fits into the total physical, psychological, and social environment of the user. The question is reviewed at length in the context of realtime expert systems in a paper entitled "Human Operator and Real-time Expert Systems."

User Interface Tools

S. Abu-Hakima, W.H. Henneker

Version 1.3 of GoodNeWS/HyperNeWS has been implemented as a result of continuing collaboration with the Turing Institute. The Section is acting as a beta test site for this software and personnel are converting programs developed with previous versions in order to test the capabilities of the current release.

The GoodNeWS/HyperNeWS–RATIONALE interface and knowledge browser were completed early in the present fiscal year. The first phase of the electromagnetic hardening advisor was completed with the successful demonstration of a prototype. Funding for the second phase of this collaborative project (with the Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering) has been obtained. Work on this second phase includes the implementation of an electromagnetic system modeling tool which requires that a graphical tool be interfaced to the constraint propagation algorithm. The intelligent drawing tool is being implemented in GoodNeWS/HyperNeWS 1.3 while the constraint propagation algorithm is in Quintus Prolog.

GoodNeWS/HyperNeWS has been chosen as the interface for a prototype implementation of a hypertext browser for use with the online documentation (manual pages) resident on the Sun workstation network. The prototype explores issues such as the fragmentation of existing linear text into nodes of basic information that will fit into a hypertext window, the creation of indexes for the topics in the documentation, and intelligent retrieval of information from the 1700 pages of textual material. The prototype is now complete. An evaluation of the prototype by a summer student who would use it as a tool to learn UNIX has been proposed.

Intelligent Advisor Systems

J.W. Brahan, A.J. Craddock, B. Farley, R.A. Orchard, A.T. Parent, C.S. Phan, M.-M. Boulet,[1] D. Pascot,[2] R. Hartley,[3] A. Cole,[3] R. Pilkington,[3] Q. Hasson[3]

The use of an "Intelligent Advisor" as an interface between the user and an interactive computer system offers the potential of introducing the new user to the system, providing assistance to the intermediate and occasional user, and providing help to the experienced user in special situations. The NRC, Laval University, the University of Leeds, Price Waterhouse, and Systèmes XA Inc. are collaborating to identify and develop basic generic software that can support creation and implementation of advisor systems in general, as well as to develop the methodologies for the application of the system to specific domains and user requirements. The conceptual design phase of database design methodology has been identified as the subject of the feasibility demonstration and the database design tool Silverrun produced by Systèmes XA Inc. is the target system. The functional architecture of the advisor is illustrated in Fig. 3. Work is underway on the modules and the development and analysis of content for the modules.

Much of the activity to date has involved identification of the database design concepts, user question-answer protocols, and relation of user questions to concepts. The methodology of conceptual database design has been broken down into four unit objectives, with intermediate objectives identified for each. Explanations have been produced for each of the intermediate objectives and linked in a hypertext structure in the knowledge base. This structure has been verified in a preliminary prototype at Laval University.

Question-answer protocols are being investigated through the use of simulation studies. Silverrun-ERM has been modified by Systèmes XA Inc. to permit a serial link connection to a Sun Workstation where a human expert can receive and respond to user questions. A case involving the production of a conceptual data model for an Unsatisfactory Condition Report (UCR) Management System was defined and presented to six subjects having various backgrounds in conceptual database modeling. These simulation studies provide data from which parameters for the user model and help system will be derived. The studies collected an inventory of questions asked by the target users and responses given by the expert. Analysis of the protocols which involves the elaboration of a typology of question-types and response strategies is currently underway.

A case-based approach has been proposed for the tutorial strategy. To this end, an expert solution has been produced for the UCR Management System case. The design process has been represented as a series of states and transition from one state to the next involves a decision based on one or more concepts. For each state identified in the solution,

[1] Guest worker.
[2] Systèmes XA Inc., Quebec, Quebec.
[3] University of Leeds, Leeds, United Kingdom.

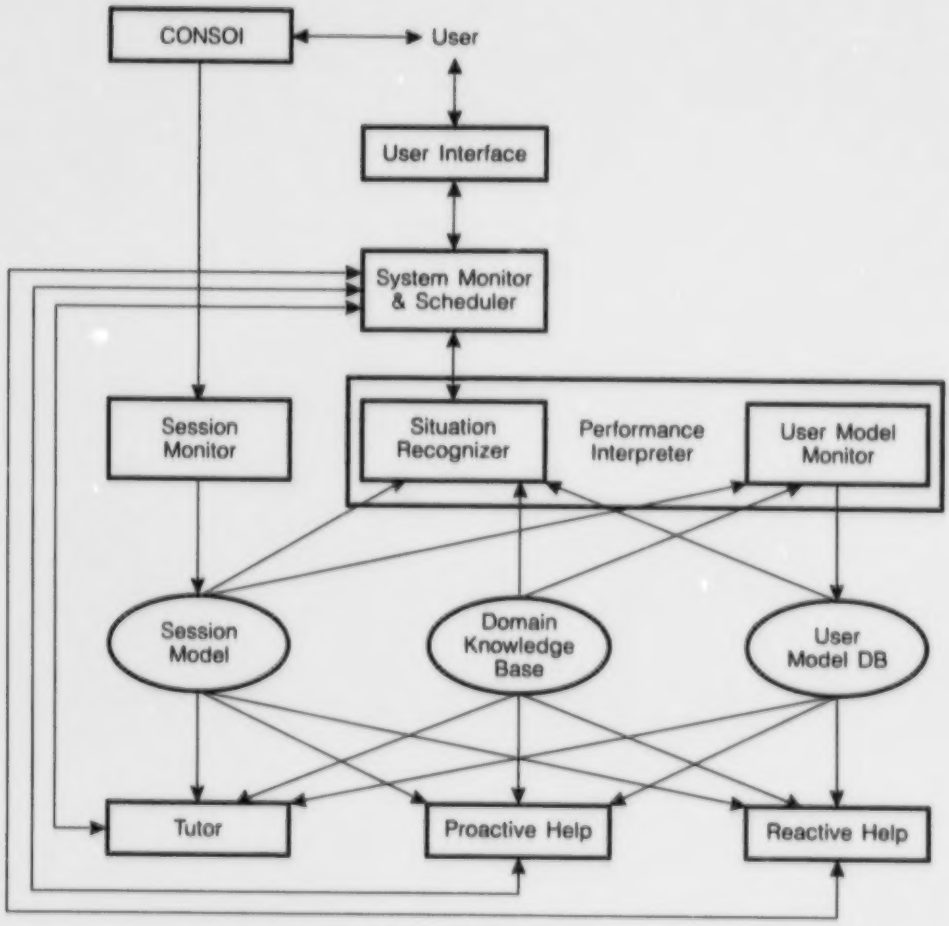


Figure 3. Functional architecture of advisor.

a situation assessment is provided, the applicable concepts identified, the appropriate decision is defined, and the action resulting from that decision is described. In this way, the student will be provided with explanations of concepts as required within the context of the actual design process.

To give help in the construction of an entity-relationship conceptual model of a database and to answer the variety of questions expected from users, the Help System itself should be able to build such a model from a needs/requirements description of the actual application. Such a system has been designed and an initial prototype implemented at the University of Leeds. The prototype was used to construct a conceptual model for an educational database and a generality test was made with a text-description of the UCR Management System case. The result was a valid and complete model almost identical to that constructed independently by another researcher.

The user model of the Advisor System has been investigated through the development of a first prototype. It is designed to explore the representation of the domain concepts and rules required to master a conceptual database design task and user parameters likely to be necessary for instructional dialogue. The user model is driven by a limited simulation of the Advisor System implemented in Prolog. Three functionalities are included: a question-answer facility or passive help, a supervisory facility, and final validity checker or proactive help.

The Session Monitor is responsible for monitoring user inputs to maintain an internal copy of the data model for the Advisor to perform

reasoning, and for sending messages to the target design tool to request changes made to the data model. A preliminary version has been implemented interfacing between the target design tool Silverrun-ERM and the Advisor, which currently can only receive messages from Silverrun. The details of the modifications to Silverrun necessary to add the other communication direction are under consideration at Systèmes XA Inc. Meanwhile, at NRC, a simulator has been developed which provides almost the same capabilities as Silverrun with regard to entity relationship modeling and which will permit the appropriate modifications to Silverrun to be specified and verified before introducing changes to the actual product.

Access to the domain knowledge base is provided by means of a Knowledge Browser. The domain knowledge covering the entity relationship data modeling concepts and skills is structured in a hierarchy based on learning psychology theories. The definitions and descriptions of these concepts and skills are encoded in a hypertext style. This hypertext stack, which can be browsed by the modules of the Advisor or directly by the user without intervention by the Advisor, is implemented in an extended version of the Turing Institute's HyperNeWS system.

Engine Health Monitoring

S. Abu-Hakima, P.L. Davidson, M.S. Halasz, C.S. Phan

Aircraft engine maintenance is a complex task requiring the effective integration of many sources of information: equipment manuals, pilot reports, instrument readings, engine settings, observations, engine history, simulation models, and specialists from the engine manufacturer. Knowledge-based technology is beneficial in this environment as turnover amongst technicians creates a loss in maintenance expertise.

The objectives of the Jet Engine Troubleshooting Assistant (JETA) are to provide a structured environment for troubleshooting, to automate the maintenance procedures of engine manuals, and to capture heuristics from experienced technicians. The reasoning algorithm of JETA is intended to be generic and reusable for other complex mechanical equipment. An effective user interface with extensive explanation capabilities should make the system understandable by any technician. The framework of JETA is flexible and maintainable, designed in a manner which aids the elicitation and updating of domain knowledge. Such updating may result from modifications to the engine, new maintenance procedures, and new sensor information.

The General Electric J85-CAN-15 jet engine, which was chosen as a first application, represents a challenging application of AI techniques. It is composed of many interrelated subsystems that have been iteratively added and modified since its introduction. The troubleshooting methods of JETA rely heavily on the strategies used by technicians, which are readily available from the Engine Laboratory of the Division of Mechanical Engineering.

Overview of JETA

An overview of the functional architecture of the system is given in Fig. 4. It stresses the separation of domain specific knowledge from the troubleshooting environment. The system consists of seven modules plus the knowledge base. For new application domains, only the knowledge base would be altered.

In a diagnostic session, the Diagnostic Network Navigator (reasoning algorithm) traverses the diagnostic network until a reported problem is corrected. At each diagnostic node, the navigator interprets encoded conditions to decide on which node to branch to next. It also updates the Engine Parts Database, Diagnostic Trace, and Training Set. The Symptom Monitor monitors symptom values, updates the Symptom Base, and triggers the Activating Condition Evaluator, which sets node status according to activation type. In the second phase of the project, a sensor sampling component will be added to perform automated on-line data acquisition for engine monitoring.

The Advice Generator is responsible for displaying context-sensitive text and diagrams. The User Interface has been designed to be separable to facilitate system portability to other workstations. The Explanation Module provides explanations based on the Diagnostic Trace or Diagnostic Node Network and allows the user to browse glossaries.

The Learning Module takes a Training Set of data as its input to generate a set of fault predictions. Currently this fault prediction is an off-line activity. Machine learning techniques and statistical algorithms based on multiple linear regression are being applied to the analysis of transient engine data so that fault data read

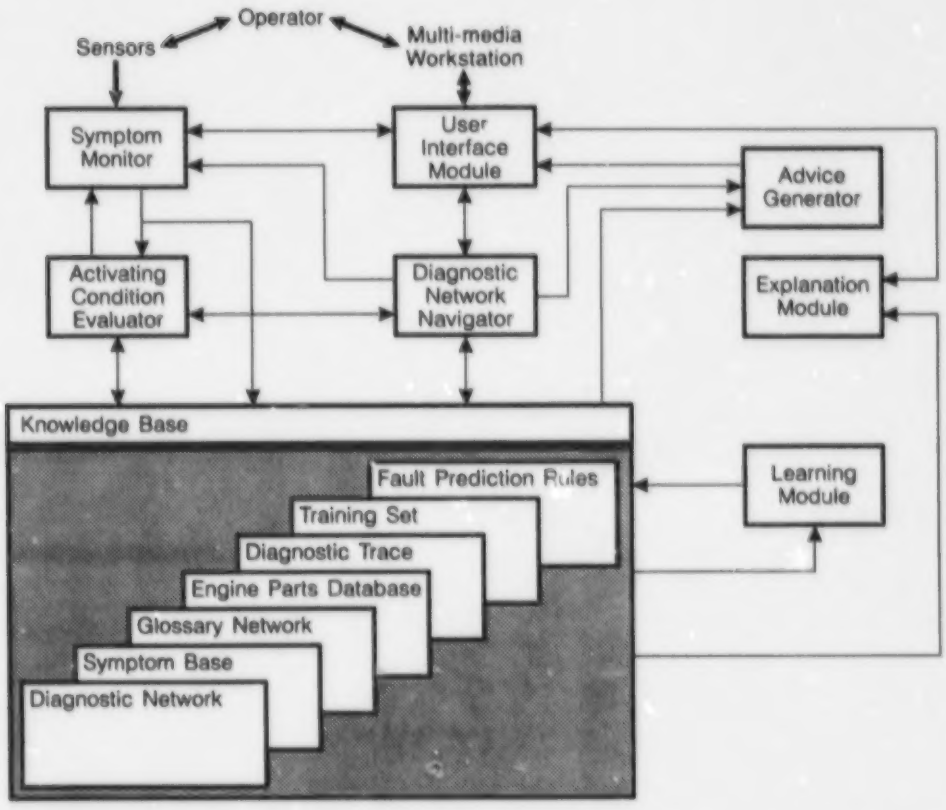


Figure 4. Functional architecture of JETA.

from sensors attached to a jet engine can be interpreted and an engine diagnosed.

Knowledge Representation

The knowledge representation chosen for JETA grew from careful analysis of the manuals and discussions with an experienced maintenance technician. Frames were selected over production rules as they highlight the underlying structure of the domain knowledge. This differs from most of the current aircraft engine troubleshooting expert systems which are rule-based. The knowledge representation of JETA was used to drive the specifications for many aspects of the project.

Traditionally, diagnostic knowledge has been captured in the form of a fault tree. With some initial observations, the reasoner starts from a general fault and traverses the tree, progressively refining the hypotheses, until the cause of a problem is found. In JETA the fault tree appears as part of a larger diagnostic network, a general directed graph, which does not reflect a true fault hierarchy since the nodes support the complex decisions of the troubleshooting task.

User Interface

The user interface is based on a multi-window approach that keeps pertinent functions visible to the user at all times (see Fig. 5) and creates an ordered "look and feel" while offering depth in certain areas of system functionality. Using icons, the user may view diagrams relevant to the current line of reasoning. An image directory allows large sets of diagrams to be organized, stored, and accessed by the system. The first version of the interface has been implemented using the ART (Automated Reasoning Tool) studio and Common LISP.

Explanations

Objectives of human explanation (clarifying intent, teaching a concept, and convincing the listener of a chosen strategy) can be adopted

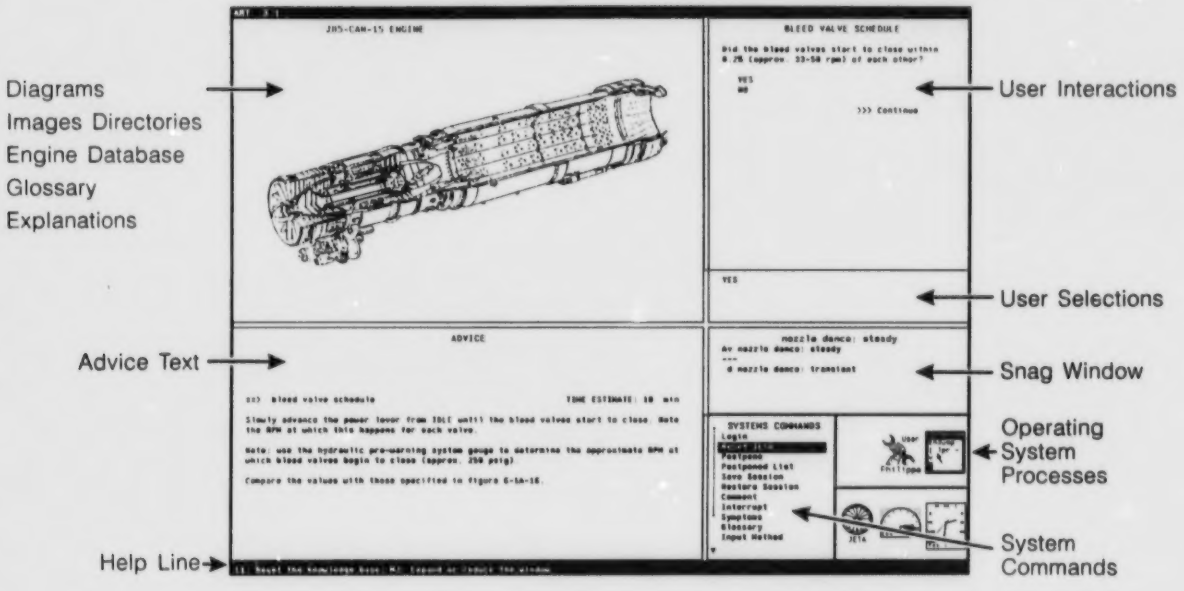


Figure 5. Screen layout.

as the objectives for the explanations of any knowledge-based system. For knowledge-based explanation to be successful, the system must be able to reason explicitly about its knowledge. In reasoning explicitly, it is provided with justifications or reasoning strategies for its decisions. The explanation is planned given the knowledge of the currently executed reasoning strategies. Due to the explicit knowledge at each node the explanation generation itself becomes a simple task and can be derived directly from the diagnostic trace.

Users can ask for an explanation by selecting template-based questions from menus. These menus allow the users to view the questions within the current context and provide the user with a guide to what questions can be asked. A multi-stack interface for these explanation facilities is being implemented in GoodNeWS/HyperNeWS.

Future Plans

The first implementation of JETA, which comprises a diagnostic network of approximately 200 nodes, has been tested and favorably reviewed by many experienced aircraft technicians. In the second implementation the number of nodes will increase to approximately 500 and the reasoning algorithm will be ported to an X-window environment so that a hypermedia interface may be completed. Provisions will be included for case-based reasoning and eventual coupling to a data acquisition system. A 6- to 12-month field trial at the Canadian Air Force base at Cold Lake, Alberta, is planned in 1991 to evaluate acceptance and correctness of the system.

Realtime Expert Systems

R.A. Orchard, J.W. Brahan, L.J. Buck, A.C. Diaz, Z.A. Soznowski, G.M. Swinkels,[1] R.H. Wylie

The main activity of this project is the development of the ARTEMIS toolkit that will provide a set of tools designed to aid in building realtime expert systems with the first focus being process control applications. The work is being done in collaboration with MPB Technologies Inc., Noranda Inc., and several universities. A feasibility study and report were completed and submitted to PRECARN Associates Inc. in June 1989 and PRECARN subsequently approved the five-year project subject to the acquisition of the required funding.

ARTEMIS can be considered as a three-level system with different functions and users at each level. The end goal is the application level in which ARTEMIS performs functions usually associated with the operator of a process control system. The other two levels provide the facility to support development of the working application. Table 1 compares some of the features to be found at each level.

[1] Division of Mechanical Engineering.

Table 1. ARTEMIS level comparison.

ARTEMIS level	Operation mode	Primary user	Knowledge representation
Application	Application	Operator	Specific plant instance
Domain	Specification	Process engineer	Physical structure, physical behavior
Generic	Design	Knowledge engineer	Frames and relationships, goals, actions, events, plans

At the application level, ARTEMIS monitors system variables and status indicators; assesses functionality of system components; recognizes abnormalities in system operation and diagnoses the probable cause; generates plans for special situations; informs the operator of system performance, status, and actions that he is required to perform; and provides for archiving of operating information for use in system restart and performance analysis.

At the domain level, which supports the application specification task, ARTEMIS incorporates general knowledge of the application domain and the process engineer supplies the data pertaining to the specific application. In this mode, ARTEMIS functions as a special purpose "shell" that is tailored to a particular domain. The interface is constructed to match the requirements of the specialist in that domain.

At the generic level, ARTEMIS supports the design task. It provides the structure upon which the other two levels are built, the basic mechanisms or tools used to represent knowledge about the physical plant, goals, actions, events and plans, and the basic mechanisms for processing this knowledge.

Activities for this project include on-site study of the flotation process at Brunswick Mines, studies of model management systems for modeling physical systems, and prototype development of some aspects of the runtime environment. Since the role of the process control operator impinges on the objectives of the project in a number of respects, a preliminary ergonomic analysis of the task of an operator controlling a zinc flotation cell was carried out and a report was published as an appendix to the feasibility study.

Studies of model management systems included a literature review of current flotation models and qualitative physics and the development of a knowledge representation scheme to support the development of high-level process control systems. It was concluded that a qualitative model would be best. Therefore, qualitative modeling techniques are being investigated and tools developed to implement the proposed knowledge representation scheme that will help the process engineer to describe the system to be controlled.

Prototype development of parts of the runtime environment include the investigation of the blackboard control architecture as the possible controller for the system and of fuzzy logic to handle uncertain and incomplete data and knowledge characteristic of the chosen application.

To investigate the blackboard control architecture, the expert system shell CLIPS developed by NASA was extended and renamed BB_CLIPS. Changes in the CLIPS syntax allowed the specification of appropriate blackboard locations. Extensions to CLIPS rules and the agenda manager incorporated specific features of a blackboard control architecture. Modifications in CLIPS functions enabled the operation of continuous systems. Other changes specific to the process control example implemented (see Fig. 6) include the development of C routines to simulate external events and the development of an interface to Sun Microsystems Network-extensible Window Server (NeWS). The use of these modifications is optional and existing CLIPS programs still execute correctly. As well, the modifications added very little runtime overhead.

Often decisions to be made in the control of processes involve the use of incomplete or uncertain data. A study is underway of the use of such techniques as fuzzy logic to address this issue. The task focuses on an extension of CLIPS for representing and manipulating fuzzy facts and rules in order to develop an expert system building tool that can use certainty or confidence factors to handle uncertainty in the knowledge or data and can cope with fuzzy concepts which constitute a very significant part of a natural language. The objective is to build a system that will allow fuzzy and normal terms to be freely mixed in its rules and facts. Representation of fuzziness will be based on the concept of a

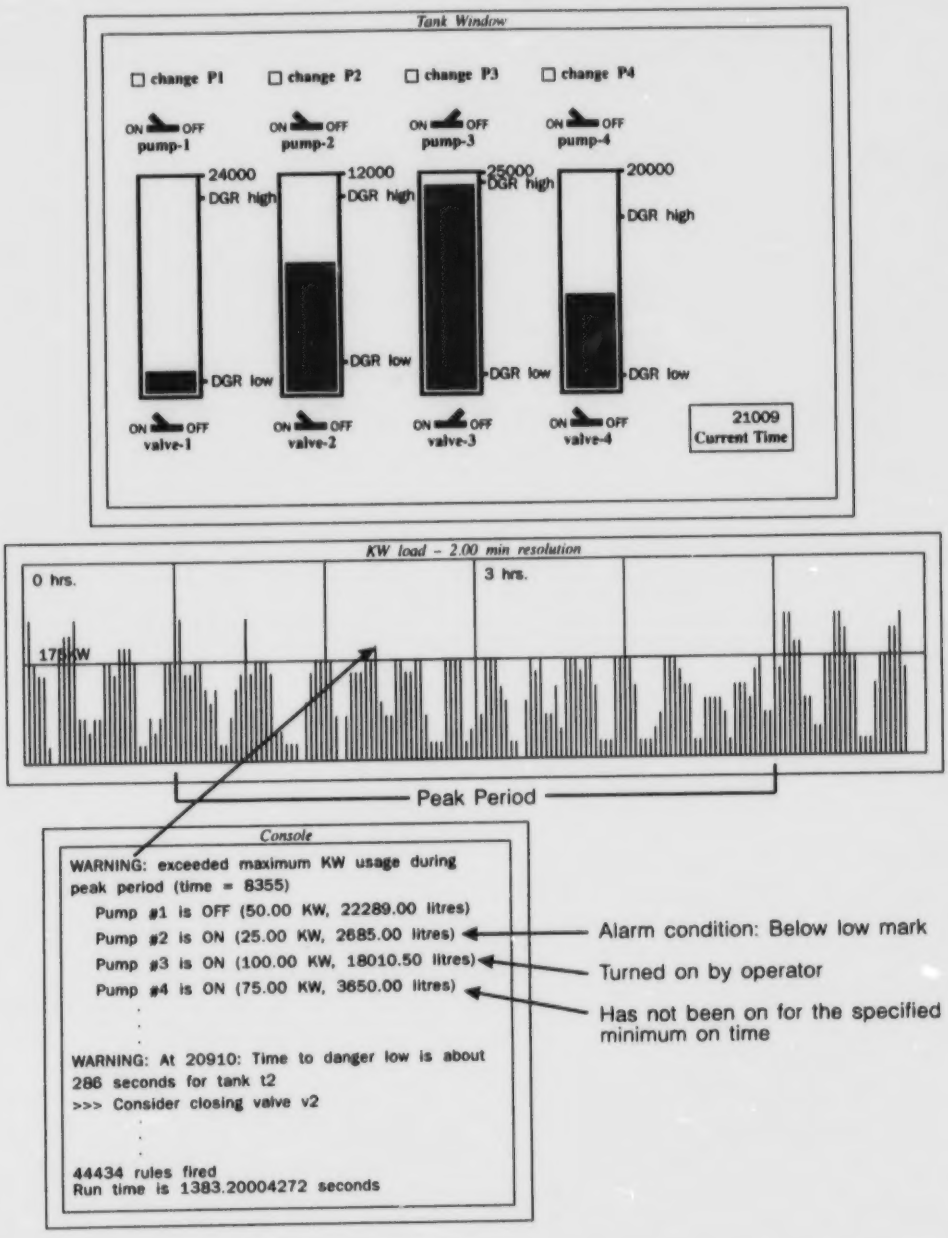


Figure 6. User interface to the BB_CLIPS test example.

linguistic variable (i.e., a variable which takes its values not as numbers but as words or sentences of a natural or formal language). The degree of uncertainty will be represented by crisp or fuzzy numbers. Fuzzy inference will be based on the theory of fuzzy relational equations and the compositional rule of inference, which is the generalization of the modus ponens rule.

Recent Papers

Published

Abu-Hakima, S. A generic environment for constructing diagnostic hierarchies. Proceedings of the IJCAI-89 Workshop on Integrated Human-Machine Intelligence in Aerospace Systems, Detroit, MI. August 21, 1989. pp. 90–99. NRC 30841.

Abu-Hakima, S., and van Hoff, A. An intelligent environment for developing knowledge-based applications. Proceedings of the IJCAI-89 Workshop on A New Generation of Intelligent Interfaces, Detroit, MI. August 22, 1989. pp. 1–11. NRC 30842.

Abu-Hakima, S., Davidson, P., Halasz, M., and Phan, S. Jet engine technical advisor (JETA). Proceedings of the Second International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Tullahoma, TN. June 6–9, 1989. pp. 154–160. NRC 30109.

Boulet, M.-M., Brahan, J.W., Cole, A.J., Duchastel, P., Hartley, J.R., Orchard, R.A., Parent, A.T., Pilkington, R., and Phan, C.S. A design task advisor. Artificial Intelligence and Education, Proceedings of the 4th International Conference on AI and Education, Amsterdam, The Netherlands. May 24–26, 1989. *Edited by* D. Bierman, J. Breuker, and J. Sandberg. pp. 25–31. NRC 30444.

Buck, L. Human operators and real-time expert systems. Expert Syst. 6(4): 227–236; September 1989. NRC 30453.

Buck, L., Hyde, F., Leonardo, R., and Rennick, R.J. Operating manual for the NRC tracometer system, Mark 8. NRC/DME/TR-SYS-022, March 1989. 79 pages. NRC 30399.

Davidson, P.L., Halasz, M., Phan, S., and Abu-Hakima, S. Un système intelligent de consultation pour le diagnostic de machinerie. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal P.Q. September 17-20, 1989. pp. 142–145. NRC 30447.

El-Zorkany, H.I. Knowledge based systems: a modelling perspective. Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference, Austin, TX. July 24–27, 1989. pp. 575–580. NRC 30448.

El-Zorkany, H.I. On knowledge based systems/expert systems for diagnosis. Proceedings of the International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, Charlotte, NC. October 12–14, 1989. In press. NRC 30449.

Famili, A. Integrating learning and decision making in intelligent manufacturing systems. J. Intell. Robot. Syst. 3(2): 117–130; 1990. NRC 29912.

Farley, B. Un interface en langage naturel pour les systèmes experts-tuteurs TRILOGY. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, P.Q. September 17–20, 1989. pp. 1172–1175. NRC 30864.

Turney, P.D. The architecture of complexity: a new blueprint. Synthese, 79(3): 515–542; 1989.

Presented

Abu-Hakima, S. A diagnostic shell for trouble shooting jet engines. Proceedings of the First Diagnostic Expert Systems in Engine Health Monitoring Workshop of the Technical Cooperation Program Committee on Condition Monitoring and Diagnostics, NASA, Langley, VA. June 12–13, 1989.

Abu-Hakima, S. Panel discussion, Constructing diagnostic hierarchies in RATIONALE. IJCAI-89 Workshop on Integrated Human–Machine Intelligence in Aerospace Systems, Detroit, MI. August 21, 1989.

Abu-Hakima, S. Intelligent interfaces: fiction or reality? AI Special Interest Group Seminar, Carleton University, Ottawa, Ont. November 29, 1989.

Abu-Hakima, S. A combined architecture for diagnosis: symbolic reasoning and neural networks. Neural Network Lecture, Carleton University, Ottawa, Ont. December 13, 1989.

Abu-Hakima, S. Reasoning by explaining. Machine Learning Seminar, University of Ottawa, Ottawa, Ont. March 23, 1990.

Abu-Hakima, S., and LoVetri, J. An electromagnetic interaction modelling and shielding advisor. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. January 9, 1990.

Brahan, J.W. L'intelligence artificielle et la formation technique. Les outils informatiques dans l'enseignement en sciences et génie, Laval University, Quebec, Quebec. August 24–25, 1989. (Invited.)

Famili, A. Application of machine learning for planning and decision making of intelligent manufacturing systems. AI in Manufacturing Workshops of the International Joint Conference on AI '89, Detroit, MI. August 19–16, 1989.

Turney, P. The stability of linear regression equations. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. October 2, 1989.

Photonics and Sensors Section

Head — J. Domey

Introduction

The goal of the research activities of the Photonics and Sensors Section is to develop new sensor systems essential to automation, particularly three-dimensional (3-D) vision systems, optical information processing, and optical sensors. Industrial automation is the primary goal of the activities, but the generic techniques developed have been applied in a number of areas, including sensors for aviation, guidance of arc-welding robots, inspection of printed circuit boards, and reproduction of 3-D objects.

Over the past year, it has been possible to demonstrate a 3-D sensor operating at a rate of acquisition of 10 MHz and producing 3-D images at a speed equivalent to that of a video camera, namely 30 images per second. This is the first time that a camera achieving such performance has been demonstrated. The acquisition of 3-D images using an eye-safe laser was also demonstrated. This will make it possible to use 3-D sensors in the open air and to measure human beings without the danger to the eyes generally associated with lasers. A project to analyze laser speckle noise in connection with the 3-D sensors, which was undertaken in collaboration with industry, has made it possible to determine the factors that can reduce this effect and increase the precision of the sensors. A new random-access 3-D camera project was begun in collaboration with the Canadian Space Agency, and another project on 3-D and color registered acquisition was undertaken in collaboration with the Canadian Conservation Institute. Even though sensors that can acquire high quality 3-D data are available, greater emphasis is being placed on the development of interactive tools, algorithms, and realtime processing of 3-D images.

Work on processing and optical sensors dealt with the evaluation of non-linear optical materials, particularly saturable absorbers and photorefractive crystals, and some optical data processing configurations, to design systems that can process data optically in real time. The transfer of technology of the fiber laser operating at an eye-safe wavelength of 1.5 μm is underway, and the development of optical sensors is continuing, within the framework of various collaborations with industry and universities.

[1]Guest worker.

3-D Vision

Development of 3-D Vision Sensors

M. Rioux, F. Blais, J.-A. Beraldin, M.S. O'Sullivan, R. Baribeau,[1] J. Domey

These new sensors, which are based on technologies that the Section has patented, have been developed to meet needs expressed by industry, particularly our licencees, or by users. The new performances that have been demonstrated represent a whole range of technologies whose integration will make it possible to produce sensors that can be used in new markets.

Random Access 3-D Camera

A new prototype has been designed within the framework of a project with the Canadian Space Agency. The purpose is to allow the automation of robotic tasks in space, such as satellite docking manoeuvres, or assembly and repairs on the space station. In this context, the prototype will use two operating ranges: one short range (1–5 m) operating by triangulation; and one long range (5–2000 m) operating by time of flight. The basic concept behind this 3-D camera prototype is to use the scene as a memory and the camera as a system to address this memory. The advantage of this approach is that it makes it possible to work in real time on 3-D images with very high definition. In fact, the available resolution, which is obtained with the help of galvanometers, is better than 4000 × 4000 elements. The triangulation geometry used calls upon scanning synchronization, a technique that has been patented by the research group, and that offers exclusive advantages, such as a decoupling of distance resolution and scanning angle. For this prototype, two fast scanning systems for axes *x* and *y* are used. Two mirrors mounted on galvanometers provide access times in the order of a few milliseconds.

To take advantage of this configuration, search and track strategies that use three operating methods, by point, by vector, and by image, have been developed. It is expected that the demonstration of short-range performance will take place during the course of 1990.

Eye-safe 3-D Camera

The use of laser sensors is often criticized because their potential danger to the eye requires implementation of safety measures that

Figure 1. Experimental results: (a) conventional photograph of the subject; (b) intensity at 1.5 µm; (c) the 3-D shape coded in grey levels obtained at 1.5 µm.

lead to an increase in costs. A solution to this problem is a 3-D sensor operating on the basis of an eye-safe laser, using a position detector that operates at 1.5 µm, and a fiber laser recently developed in this Section, which emits at the same wavelength. The position detector is a lateral effect photodiode with a 7 MHz bandwidth. The laser has a power output in the order of 70 mW. The scanning system makes it possible to obtain a 3-D image consisting of 256 pixels x 256 pixels in less than 1 s. Figure 1 shows the experimental results obtained with this prototype. The laser power used for this recording was three orders of magnitude lower than the maximum allowed by laser safety standards (ANSI Z-136).

An analysis of the preliminary results has shown that operating at 1.5 µm can produce surprising performance. At the same time, it will be possible to obtain a large volume of measurement (1 m^3), good definition (1000:1), and a very high sampling rate (1 MHz). However, such performance will require the development of a much more powerful laser source operating at 1.5 µm (~10 W) than the one that is presently available (~0.1 W).

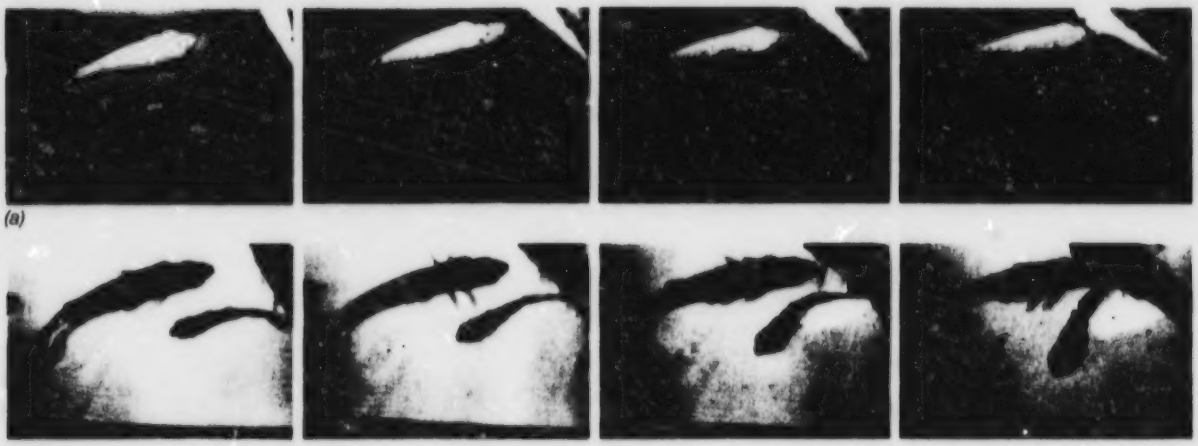
Video Rate 3-D Camera

The first prototype of a video rate 3-D camera, fully compatible with the industry standard RS-170, has become operational. The specifications of this novel 3-D camera, which provides range and intensity signals simultaneously, are summarized in Table 1. Figure 2 shows range and intensity image sequences of three live tropical fish in an aquarium.

Owing to the very nature of the position sensor of this 3-D camera, two factors influence the depth accuracy: the collected light intensity and the temperature. Consequently, it was necessary to design proper electronic circuits to correct any problems. To control the galvanometer effectively, a simplified version of the circuit and wave shape optimization algorithms (see

Table 1. Summary of the specifications of the video rate 3-D camera

Parameter	Specification
Volume of measurement	5 cm x 5 cm x 5 cm
Frame rate	30 images per second
Scan resolution	512 H x 420 V per image
Scan accuracy	±1/4 pixel
Depth resolution	256 levels
Dynamic range	65 000
Laser power	35 to 350 mW



(a)

(b)

Figure 2. Image sequence of three tropical fish in an aquarium: (a) range sequence 4/30 s between images; (b) intensity sequence 4/30 s between images.

Bulletin 3(3)) were added, in order to be able to scan the vertical axis (30 or 60 Hz). The horizontal axis is obtained by using a rotating polygonal mirror. Any dephasing, amplitude, and scanning origin variations are automatically compensated for as a function of scanning frequency (interlaced at 60 Hz, or not interlaced at 30 Hz), the inertia of the galvanometer-mirror assembly, and deflection amplitude.

Color 3-D Camera

Until now, the prototypes have made it possible to simultaneously record the spatial coordinates of the surface of an object (x, y, z), and the intensity of the light scattered at that location (x, y, I). Recently, an application was submitted for a patent related to the conversion of monochrome 3-D cameras into color 3-D cameras (RGB). A simple modification makes it possible to convert 3-D camera prototypes using NRC-patented principles at a very modest cost (excluding the cost of the laser source).

Controlling Speckle Noise

Within the framework of a collaborative project, a scientist from Servo-Robot Inc. worked for almost two years in the Section. During this period, a significant proportion of his work dealt with controlling the speckle noise that can affect the resolution of position measurements, and thus the performance of 3-D vision sensors. One of the conclusions of the study is illustrated in Fig. 3. It shows the effect of the spatial integration of the image of a laser beam scattered by an opaque surface. An averaging effect is obtained using a synchronized scanning system. The parameters of this averaging effect may be quantified using a model developed during the course of the project.

BIRIS

A new compact optical head was designed to integrate the BIRIS projection system with the optical detector. The projection system includes a diode laser operating in the infrared, the optics required to project one or more lines, and the electronics that make it possible to modulate the laser power between 0 and 25 mW directly, using a TTL-PWM signal.

To make the technology more accessible, the sensor has been integrated into a commercially available image processing system. Even though overall performance is not as good as can be obtained with the dedicated system, the availability and the ease of integration and utilization of the system for subsequent processing of the 3-D results make it very attractive. The Datacube Maxvideo system was chosen because of its modularity and the variety of available modules.

The program was written in C, using a 680X0 series processor in the Sun UNIX or MicroWare OS-9 environment. To support the largest possible number of environments, a very simple interface was also provided. It consists of a set of memory spaces on the VME bus which, as far as the user is concerned, appears as an intelligent slave peripheral. A master processor directly on the VME bus, or through a parallel VME-VME or PC-VME interface, for example, makes it possible to link the master environment (for example, Harmony) and the BIRIS system.

The software and the technology developed are available to Canadian universities for internal use, for research purposes. Laval University

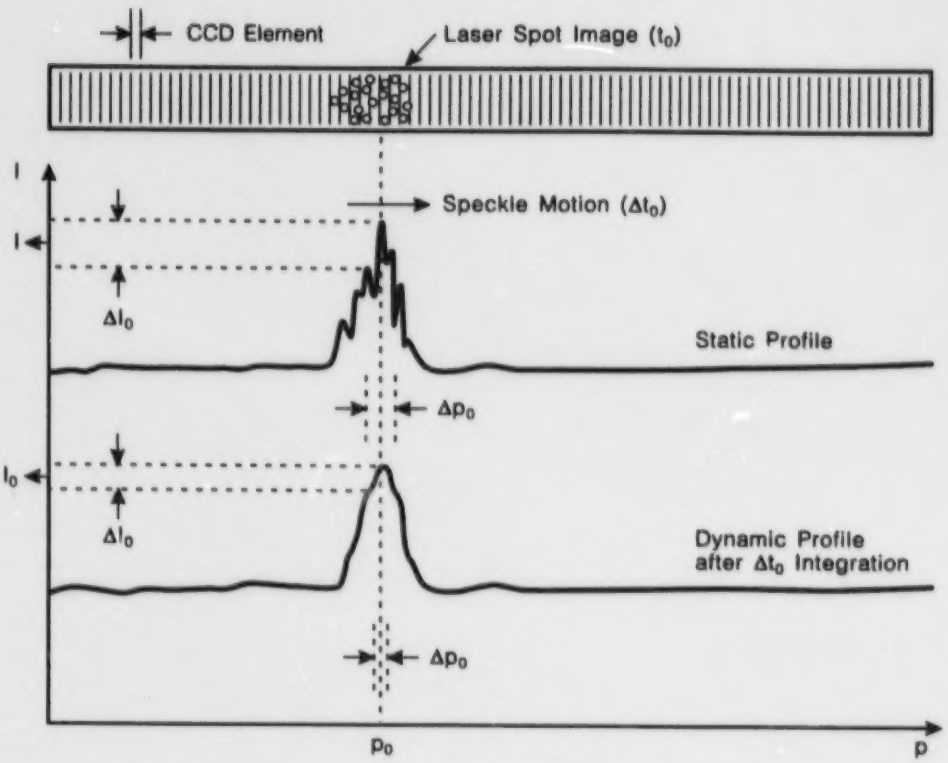


Figure 3. Reduction of speckle noise. The profile on top illustrates the amplitude of the speckle noise ΔI_0 and its effect on the lack of accuracy of the position measurement Δp_0. The profile at the bottom illustrates the noise reduction due to the averaging effect created by the synchronization of projection and detection scans.

has already entered into an agreement for this purpose.

Applications of 3-D Vision Sensors

M. Rioux, F. Blais, G. Godin

Datagraphy and File Compression

Datagraphy is a technique described by the Section at the International Three-Dimensional Media Technologies Conference held in Montreal in May 1989. This technique, which we have called "Datagraphy," by analogy with holography, consists of acquiring in detail the shape and the intensity of the light scattered on the surface of an object, to reproduce its 3-D image on a screen. Two strategies are proposed for the acquisition. The first consists of placing the object on a rotating table and digitizing the surface using a scanning system whose projection axis coincides with the axis of rotation of the rotating table. The second consists of integrating multiple views taken all around the object.

The use of a laser scanning technique has an advantage in that it makes it possible to select the size of the samples (typically 100 µm) at will. In this way, it is possible to record the shape and reflectivity of an object in a very compact and nonredundant file (which is not the case with holography). The size of a file obtained using datagraphy (which could be called a datagram) is typically in the order of 1 Mbyte. By comparison, the digitization of a hologram requires a memory capacity in the order of 10^{11} bytes; thus, a hologram requires 100 000 times more memory.

Figure 4 shows a datagram of an object obtained using a rotating table. The photographs represent (a) the shape of the object, which is made up of profiles measured every one-half of one degree, and (b) the reflectivities associated with shape measurements.

Figure 5 illustrates two reconstructions made on the basis of the datagram. The reconstructions can be obtained using a graphic workstation. The reconstruction angle is specified by the user, and the object may be rotated in real time, if desired. Moreover, some graphic workstations are equipped with a stereoscopic screen that makes it possible to obtain a 3-D reconstruction that can be rotated on the screen for more detailed observations. One of the characteristics of the approach (synchronization of

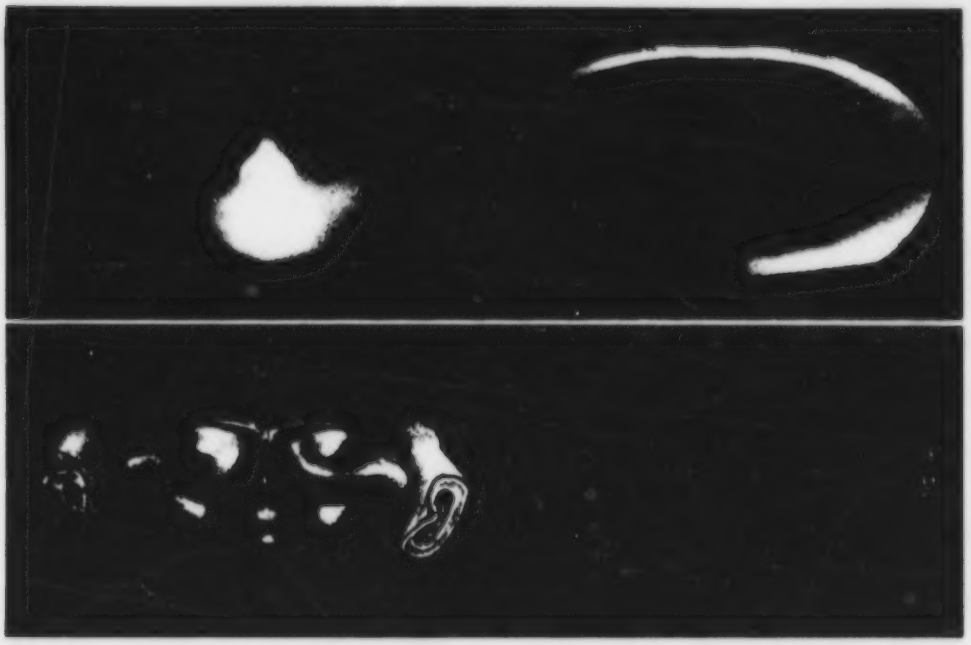


Figure 4. "Datagram"; a recording over 360° of the shape and texture (intensity) of an object: (a) the shape coded in levels of grey; (b) the scattered intensity.

(a)

(b)

laser scans) is the lack of speckle noise, and the possibility of obtaining a color 3-D reconstruction with photographic fidelity.

Given the small size of the files, which can be reduced even more for transmission and storage using compression techniques, this technique could find interesting applications in the visual communications field. A compression algorithm was developed for this purpose. It takes advantage of the natural characteristics of 3-D objects to obtain an interesting compacting rate, without loss of information, as opposed to classical algorithms, which offer better performance, but affect the integrity of the data. The algorithm and the file format created are thus compatible with UNIX, OS-9, VMS, and PC (DOS) systems. This technology has been used with the Section's database of 3-D images, which contains 214 3-D images and requires 214 diskettes. Using this algorithm, it is possible to reduce the number of diskettes to less than 10, which can cut transmission or storage costs significantly.

Conservation and Authentication

Collaboration with the Canadian Conservation Institute is continuing. Recently, the high resolution prototype was used to reproduce a Jean de Brébeuf mortuary plate whose surface is irreversibly deteriorating. This deterioration, which is making the metal very brittle, prevents any reproduction using traditional (contact) techniques. Moreover, we believe that the prototype used is the only device that makes it possible to obtain a detailed reproduction (without contact), within a reasonable time. In fact, the file used to acquire the shape of the plate contains over one million samples, with a resolution of 50 µm, and the time required for the recording was in the order of one minute.

Another application consists of evaluating the authenticity of stamps on oil paintings. To assist the experts working at the Conservation Institute, 3-D measurements of an original estate stamp were obtained and 3-D comparisons between authentic stamps and those assumed to be authentic carried out. In this case, the noise of the distance measurement (z) was in the order of 10 µm (RMS).

Dental Prostheses

The acquisition of acquired data on dental impressions has begun, in order to automate the manufacture of prostheses. One of the projects is related to the production of crowns and is being carried out jointly with the Canadian Institute of Industrial Technology in Winnipeg. Another project of the same type is being done in collaboration with a Montreal firm. One of the scientists attached to this firm is working in the Section's laboratories, to develop a tool that could be used for the measurement and production of dental prostheses.

Figure 5. Two reconstructions obtained from the digital file illustrated in Figure 4. Top, the 3-D shape coded in levels of grey; middle, the derivative of the 3-D data; bottom, the intensity data applied to the 3-D surface.

Processing, Analysis, and Interpretation of 3-D Images

M. Rioux, P.B. Boulanger, G. Godin, N.N. Abdelmalek, F. Blais, M. Yamamoto[1]

Three-dimensional images have a significant advantage over intensity images in that they contain geometric data of the objects in the scene, which can significantly reduce the complexity of the analysis. This property should make it possible to develop applications with much more robust performance, even in a less structured environment. An increasing proportion of this work is thus concerned with the interpretation of 3-D images. One of the elements that is essential for interpretation, and which determines the quality of the final results, is the segmentation of the surface visible on the scene. Some segmentation techniques have thus been developed and evaluated, together with some of the tools required for this segmentation.

Anisotropic Scale Space

One of the problems of the scale space used with depth images is that the results obtained are not point-of-view invariant. To solve this problem, a new Gaussian filtering technique was developed. This technique calculates a moving average whose points inside the convolution window are weighted using a support function determined by the surface geodesic distance and by the angular compatibility determined by the geodesic motion theorem. The filter has the following characteristics: it preserves depth and orientation discontinuities, preserves the curvature properties; and is point of view invariant. Figure 6 (a–d) illustrates the surface variations of a toy, as a function of the size of the operator.

Depth and Orientation Discontinuities Sensor

The detection of depth and orientation discontinuities using a morphological method is essential for the analysis of depth images. To detect these structures, a new algorithm using mathematical morphology operations was developed. The algorithm has the following characteristics: excellent immunity to noise, location of discontinuities with accuracy of one pixel, automatic adjustment of detection parameters, and a parallel structure.

The implementation of algorithms for the analysis of images on realtime processors is essential for their use. Thus, the Section has recently purchased a specialized MaxVideo image processing system, made by Datacube, that will allow testing, in a dedicated environment, of some of the 3-D image processing algorithms that have been developed in the slower and less specialized VAX environment.

Preliminary studies on the implementation of a discontinuity detection algorithm on this processor have shown that it is possible to calculate the position of these discontinuities in less than 0.5 s.

[1]Visiting research scientist

(a) (b) (c) (d)

Figure 6. Anisotropic filtering: (a) original shadowed image, (b), (c), and (d) filtered image with σ_s = 2.5, 5.0, and 7.5, respectively

Hierarchical Segmentation and Geometric Primitive

A hierarchical segmentation technique that is capable of representing depth images with various degrees of accuracy has been developed. The algorithm uses second-order polynomials as the basic geometric primitives. Thanks to this algorithm, it is possible to process identification problems in a multi-resolution way, and thus reduce the complexity of the process used to establish the correspondence between the observed object and the models contained in the database.

Segmentation of Small Objects Using the Histogram of the Surface Mean Curvature and Algebraic Error Analysis

A procedure for the segmentation of 3-D range images of small industrial-like objects using the histogram of the surface mean curvature has been presented. It is based on the idea that at segmentation boundaries, the surface mean curvatures are much higher than the mean curvatures of at least one of the regions which these boundaries separate. The segmentation boundaries can be, for example, folds or creases, ridge lines, and the boundaries between planar and nonplanar regions. The jump edges and the object(s) boundaries are obtained separately. The mean curvature at each surface point is calculated and the mean curvature histogram is obtained for the whole image, excluding the jump boundaries. From this histogram a coarse segmentation of the image is obtained. The segmentation boundaries may then be modified by examining the residuals of the fitting planes at each boundary point and its surroundings.

To be able to compare the performance of different algorithms used to determine surface curvature, algebraic error analysis for the calculated surface curvatures of 3-D range images has been presented for four curvature estimation techniques described in the literature. It was concluded that the two methods which give better curvature estimations with comparative accuracies have almost identical curvature error bounds. The weakness of the other two methods is not due to large error terms in the calculated curvatures but due to other factors such as inaccurate determination of the tangent planes or inaccurate estimations of the directional first- and second-order derivatives.

Temporal Analysis of 3-D Images

Another interesting aspect, especially after the demonstration of the acquisition of 3-D images at very high speeds, is the analysis of temporal sequences of 3-D images. This is being explored within the framework of two collaborative studies, one with the Electrotechnical Laboratory (Japan), which has sent a researcher to our laboratory for one year, and the other with Concordia University.

Tools Used to Represent 3-D Data and to Integrate Multiple Views

Given the serious difficulties previously encountered in any attempt to properly segment all the surfaces of a scene, it seemed essential to develop tools that would make it possible to visualize and interact with 3-D data, in order

to develop systems where the operator is assisted by the computer to correct errors or inaccuracies. For this purpose, various graphic tools that can be used to display 3-D data produced by the sensors have been developed. These tools make it possible to quickly visualize geometric data that are irregularly distributed in space but provided with a rectangular parametric grid. The surface created may be manipulated interactively (rotation, translation, expansion). It is also possible to use a color map, together with the 3-D data, to represent the light intensity diffused toward the sensor, as well as the calculated values (approximation errors, curvature, etc.). Moreover, the use of synthetic lighting systems makes it possible to emphasize the geometric characteristics of the surface. This program was developed on a high performance IRIS 4D-80GT graphic workstation made by Silicon Graphics.

These tools have also made it possible to develop a shape comparison program that can be used for the qualitative evaluation of differences between two 3-D images of almost identical objects. This program has been used within the framework of a collaborative project with the Canadian Conservation Institute.

The potential of these tools was initially tested for the integration of multiple views of objects using surface/volume models. The high precision 3-D sensors offer a wide range of possible uses in the construction of digital models of existing objects. This type of process can start with the acquisition of a set of 3-D images on the basis of known positions and orientations, which will make it possible to reduce all the points measured to a common reference. However, it can be expected that the shape of various objects will make it impossible for the sensor to capture some portions of the surface. Thus, the purpose of data integration consists not only of combining information obtained from various points of view by eliminating redundant surface portions but also of completing the surface so that it completely surrounds a volume. The strategy produces the most conservative estimate, regardless of the shape of the object, along the lines defined by the trajectory of the light rays during the process of triangulating a surface point in each of the views. The grey areas (those portions of the image where 3-D information is not available) are processed in a special way, as a function of their alignment with the triangulation reference points. The intersection of all these partial volumes produces a representation of the volume of the object, whose entire surface can be identified.

This project represents the first stage in the development of a system for the semiautomatic generation of CAD models on the basis of 3-D data. Moreover, it offers the possibility of 3-D reproduction, when the models are transferred to a digital manufacturing machine.

Optical Data Processing and Sensing

Laser Source and Position Sensor Operating at 1.5 μm

M.S. O'Sullivan, P.P. Maigne, J.E. Bernard, J. Chrostowski

Three years ago a project was launched to develop an eye-safe version of the laser scanner for use in industrial/space station environments. A high-power laser source and a special purpose lateral effect photodiode were developed. This InGaAs photodiode was designed at NRC and fabricated and packaged at RCA in Vaudreuil. The design of the eye-safe continuous-wave (cw) laser is now being licenced to industry for eye-safe laser ranging. The prototype of the eye-safe 3-D camera has been tested. Current work to extend this technology includes pulsed Q-switched operation, in collaboration with Carleton University, and preliminary work on compact diode-laser-pumped eye-safe solid state lasers.

Nonlinear Optical Processing

S.A. Boothroyd,[1] M.S. O'Sullivan, J. Chrostowski, N. Peereboom,[1] L. Chan[1]

Development of reliable laser sources has contributed to the growing interest in applications of coherent optical techniques, which offer significant advantages for analog signal processing with a high degree of parallelism and permit high-speed transmission of information using free space or guided wave propagation. Moreover, recording of amplitude and phase of spatially and temporally modulated optical wavefronts has opened new applications. Practical implementations of these concepts require nonlinear materials allowing efficient and fast interaction between optical beams at low power levels. Thermal effects limit the performance of currently available materials, including semiconductor superlattice structures, in digital optical switching in telecommunications and computing. However, for analog applications two groups of materials were identified as very promising. Current work is focused on optical processing using commercially available

[1] Guest worker.

saturable absorbers and photorefractive crystals for system design and implementation of new processing algorithms. This long-range project aims at pattern recognition of 3-D range data for mobile robots or space applications in a compact, small size. Previous work on degenerate two-wave mixing (TWM) in acridine glass and ruby was extended to fluorescein in an attempt to understand the anomalous result obtained in ruby. These results demonstrated the dependence of the excited level lifetime of fluorescein on incident intensity and absorption coefficient, i.e., on temperature, but as yet no satisfactory explanation has been found to account for the anomalous TWM behavior.

The characteristics of the titanium sapphire laser to be used for these applications were investigated under pumping by the Q-switched mode-locked green output of the Spectra Physics 3800 laser system. Behavior in the "gain-switched" mode was in agreement with other work described in the literature. For cw operation Gaussian beam analysis was applied to a four-mirror cavity arrangement and the necessary extra components obtained. Steps were taken to obtain tuneable output by using the Lyot filter. This new arrangement for cw operations is to be tested shortly.

Work continued on optical processing schemes which take advantage of either ultrahigh speed serial processing or slower but highly parallel specific image processing schemes which employ Fourier transformation, correlation, phase conjugation, and realtime interferometry. Patent protection was sought for a versatile image processing interferometer employing phase conjugate mirrors. As well, materials for optical processing are under study. Some preliminary experimental work was undertaken with the photorefractive semiconductors InP, GaP, and GaAs. The effective third-order nonlinearity of these materials is high, and they will be characterized for image amplification which is an important requirement in image processing.

A joint transform correlator was implemented using optically induced anisotropy in fluorescein-doped boric acid glass. The correlation operation is important since it can be used to identify images of similar objects within a scene.

A schematic diagram of the experimental arrangement is shown in Fig. 7. The intensity of read light after the second analyzer is proportional to the intensity of the pump light which is given by the square of the Fourier transform of the input image. The Fourier transform of this information, obtained with a second lens, gives the autocorrelation of the input image. Results for the autocorrelation of a scene show a large signal in the central area where the autocorrelation functions of individual geometric shapes overlap and outside this area where cross correlations between these shapes are expected (Fig. 8). In particular, peaks corresponding to the cross correlation of two identical circles predominate outside the central region. The observed signal-to-noise of the cross-correlation peaks is 250:1.

New interactional neural network algorithms recently developed are being evaluated for possible optical implementation. Such a scheme may serve as an adaptive correlator and associative memory to be built in a probably hybrid form, nonlinear optical materials

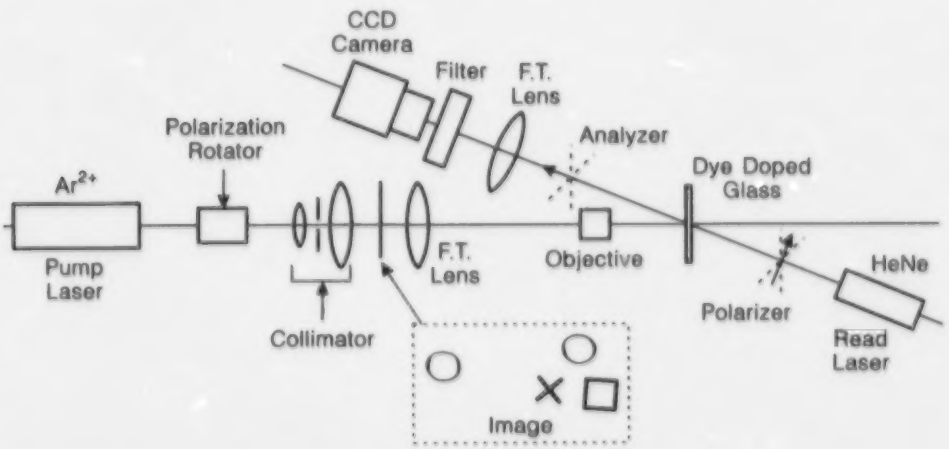


Figure 7. Schematic diagram of optical correlator: inset, input image.

Figure 8. Autocorrelation of input image obtained with a pump power of 160 μW incident on the glass and a read laser power of 1 mW.

having a function of interconnecting element and a microcomputer for thresholding function. Two American patents on nonlinear optical data processing which resulted from this work are pending.

Collaborative Projects with Industry and Universities

The projects under this title are jointly defined and financed by the associated companies or universities taking advantage of the expertise in photonic engineering residing in the Photonics and Sensors Section. They are selected to complement and expand internal projects.

Photonic Sensors and Sensor Networks

J.E. Bernard, J. Chrostowski, H. Kopola,[1] M. Osterfeld,[1] W.J. Bock[1]

Projects on system aspects of photonic probes for electric fields are being conducted with the Department of Electrical Engineering of the University of Ottawa and the Avionics Division of Canadian Marconi in Montreal. Collaborative research was also started with the University of Duisburg, West Germany, on possible use of organic materials for electric field sensing/modulation. A new design of the electric field sensor on KTP crystal and hemispherical antenna was implemented.

In avionic applications it is expected that a number of sensors will be operating simultaneously. Thus a large portion of current work is devoted to the system aspects of multiple sensors. Several basic problems associated with fiber-optic-coupled interferometric sensors were investigated. A practical interferometric sensor will require a low-cost reliable light source whose spectrum can be modulated to read the phase of the interferometer. The spectral modulation of diode lasers was measured and found to be insufficient for most sensors. Alternatively, a broad source with a coherence length of less than 100 μm can be used and a technique called "white light interferometry" employed to read the optical path difference (OPD) between the two interferometer arms. Since present broadband sources capable of being coupled to single-mode fiber are both expensive and unreliable, the use of several narrower band diode lasers with wavelengths chosen to mimic a broadband source was studied. Numerical calculations performed to predict the interference pattern from a pair of coupled interferometers show that, provided there is sufficient overlap in the spectra, such a source can be used in white light interferometry. Also, a technique for broadening the spectrum from a laser diode was experimentally investigated. Here, the laser diode is dc biased well below threshold and a train of short large-amplitude current pulses applied. These pulses gain switch the laser which emits a train of short optical pulses with a spectrum composed of many longitudinal modes, each of which is broadened. Currently, the performance of this laser is being optimized. Besides being useful for white light interferometry, such a short coherence length source can also be used in laser gyroscopes.

[1]Guest worker.

Sensitivity to temperature changes can still be a problem in white light interferometry. An interferometer can be made temperature insensitive only if the two arms are approximately equal in length. However, it is almost impossible to read the phase of a standard interferometer with approximately zero offset simply by varying the wavelength of the source. Previous work in this Section on ARROW optical waveguides showed that their chromatic dispersion can differ significantly from that of other optical waveguides. It is proposed to make use of this difference in dispersion in building a new type of interferometer in which the OPD depends on the wavelength of the source. Varying the wavelength of the source has an effect in this interferometer which is similar to that normally achieved by placing an active phase shifter in one of the arms. The wavelength dependence of the OPD, including the effects of material dispersion, was calculated numerically for an interferometer with arms in the form of a planar slab waveguide and an ARROW waveguide. The results show that if the wavelength is changed by 1 nm, the interference pattern in a balanced interferometer with arms 3 cm long will change by almost one fringe.

With the aim of developing an optical temperature or pressure sensor, miniature diode pumped Nd:YAG lasers were studied. In collaboration with the Division of Physics, several lasers with overall cavity lengths of only 0.7 and 0.4 mm were built. When pumped at 809 nm with the output from a GaAlAs laser, these lasers lase at 1.06 μm in a single transverse mode. Single longitudinal mode operation is obtained at all output powers from the shorter samples. Because of their small size and the fact that the wavelength of their output depends sensitively on temperature and pressure, these lasers are ideal candidates for fiber-coupled optical sensors. It is planned to use one of these sensors in a high-pressure chamber. Initially, a Fabry-Perot interferometer will be used to measure changes in the output wavelength. Higher precision measurements can be obtained by making use of the extremely narrow linewidths of these lasers which allows the use of optical heterodyning techniques.

Photonic Networks and Systems

M.S. O'Sullivan, S.A. Boothroyd,[1] M.S. Wartak,[1] J. Chrostowski, L. Chan,[1] S. Yuen, C.W. Barnard[1]

Collaboration with the Telecommunications Research Institute of Ontario (TRIO) and its industrial partners on the project "Photonic Networks and Systems" was very active. Several TRIO researchers are working in the Section on optical interconnects, important for optical communications, as well as signal processing. In particular, work on silicon and organic optical interconnects, compatible with VLSI electronics, focused on a new multilayer structure — ARROW (Antiresonant Reflecting Optical Waveguide) and its properties. These will serve as the basis for beam splitters, combiners, and correlators in the future implementation of the ultra-fast photonic network. The waveguides are being patterned on the NRC-developed direct laser writer. Further silicon processing is being done at the Department of Electronics, Carleton University, Ottawa, Ontario. Accompanying projects include computer-generated holograms and dynamic holograms in photorefractive media. These will also be used as programmable interconnects for matched filters and associative memories in internal NRC projects. A joint project with Andrew Engineering Inc. and Simon Fraser University, from Burnaby, British Columbia, on a blue solid state laser for laser micropatterning resulted in a first prototype on the potassium niobate crystal. Special coating of the crystals is being done by the Thin Films Group in the Division of Physics of NRC.

[1]Guest worker.

Recent Papers

Published

Abdelmalek, N.N. Piecewise linear least-squares approximation of planar curves including computer programs. NRC/ERB-1020, May 1989. 49 pages. NRC 31069.

Abdelmalek, N.N. Heuristic procedure for segmentation of 3-D range images. Int. J. Systems Sci. 21(2): 225–239; 1990. NRC 31415.

Abdelmalek, N.N., and Boulanger, P. Algebraic error analysis for surface curvature of 3-D range images. Proceedings of Vision Interface '89, London, Ont. June 19–23, 1989. pp. 29–36. NRC 30297.

Beraldin, J.A. Design of Bessel-type transimpedance preamplifiers for lateral effect photodiodes. Int. J. Electron. 67(4): 591–615; 1989. NRC 29612.

Blais, F., Rioux, M., and Domey, J. Realtime processing requirements and implementation for the BIRIS range sensor. Proceedings of Electronic Imaging '89, Boston, MA. October 2–5, 1989. pp. 1053–1058. NRC 30751.

Blais, F., Rioux, M., and Domey, J. Compact three-dimensional camera for robot and vehicle guidance. Opt. Lasers Eng. 10: 227–239; 1989. NRC 30032.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., and O'Sullivan, M.S. Determination of the phase of the complex nonlinear refractive index by transient two wave mixing in saturable absorbers. Opt. Lett. 14(17): 946–948; 1989. NRC 30400.

Boulanger, P., Gagalowicz, A., and Rioux, M. Integration of synthetic surface relief in range images. Comput. Vision, Graphics, Image Process. 47: 361–372; 1989. NRC 29538.

Boulanger, P. Segmentation de formes géométriques complexes par la méthode des courbures. NRC/ERB-1023, December 1989. 23 pages. NRC 31210.

Jiang, W., Chrostowski, J., and Fontaine, M. Analysis of ARROW waveguides. Opt. Commun. 72(14): 180–186; 1989. NRC 30316.

Madej, A., Berger, W.E., Hanes, G., and O'Sullivan, M.S. Tunable frequency narrowed Nd^{3+}-doped fiber laser for excitation of the $5p\ P^{1/2}\ 4d\ D_{3/2}$ transition in Sr^{+}. Opt. Commun. 73(2): 147–152; 1989. NRC 30311.

Porada, E., and Boulanger, P. Interactional parallel processing in neural nets. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Washington, DC. June 18–22, 1989. Vol. II, pp. 557–560. NRC 31264.

Porada, E., and Rioux, M. Theory and computer simulation of the interactional neural network. NRC/ERB-1021, April 1989. 23 pages. NRC 30269.

Rioux, M. Computer acquisition and display of 3-D objects using synchronized laser scanner. Proceedings of the 1989 International Conference on Three Dimensional Media Technology, Montreal, P.Q. May 30 – June 1, 1989. pp. 253–268. NRC 30295.

Rioux, M., Blais, F., and Beraldin, J.-A. Laser range finder development for 3-D vision. Proceedings of Vision Interface '89, London, Ont. June 19–23, 1989. pp. 1–9. NRC 30296.

Rioux, M., Blais, F., Beraldin, J.-A., and Boulanger, P. Range imaging sensors development at NRC Laboratories. IEEE Workshop on Interpretation of 3D Scenes, Austin, TX. November 27–29, 1989. pp. 154–160. NRC 30819.

Wartak, M.S., and Chrostowski, J. Chromatic dispersion in nonlinear optical waveguides. Microwave Opt. Technol. Lett. 2(9): 340–342; 1989. NRC 30567.

Wong, A.K.C., Lu, S.W., and Rioux, M. Recognition and shape synthesis of 3-D objects based on attributed hypergraphs. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(3): 279–290; 1989. NRC 31263.

Yamada, H., Boulanger, P., and Sakaue, K. Matching of complex 3-D surfaces using dynamic programming. NRC/ERB-1022, December 1989. 13 pages. NRC 30411.

Presented

Boothroyd, S.A. Nonlinear optics for signal and image processing. IEEE Laser and Electro-optics Society Ottawa Chapter Meeting, Ottawa, Ont. November 21, 1989.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., and O'Sullivan, M.S. Influence of absorptive and phase gratings on two-wave mixing in saturable absorbers. Annual Meeting of the Optical Society of America, Orlando, FL. October 15–20, 1989.

Boulanger, P. La vision 3D. Course, École Polytechnique, Montreal, P.Q. Novembre 29, 1989.

Boulanger, P. La vision 3D au CNRC. Seminar, Université de Québec à Hull, Hull, Quebec. December 9, 1989.

Boulanger, P. Image processing. Seminar, Royal Canadian Mounted Police, Ottawa, Ont. December 13, 1989.

Chrostowski, J. Phénomènes optiques non-linéaires et traitement de signaux. Département de physique, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec. April 12, 1990.

Domey, J. 3-D vision sensor research in NRC/DEE. Electrotechnical Laboratory, Tsukuba, Japan. March 7, 1990.

Domey, J. 3-D vision sensor developments in NRC/DEE. Kubota Ltd., Kawasaki, Japan. March 8, 1990.

Domey, J. 3-D vision sensor developments in NRC/DEE. Toshiba Corp., Kawasaki, Japan. March 9, 1990.

Godin, G. Issues in the computation of edge-based descriptions from range images. Workshop on Range Image Understanding, Vision Interface '89, London, Ont. June 19, 1989.

Rioux, M. Development of range imaging sensors at the NRC Laboratories. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. March 6, 1990.

Wartak, M.S. Macroscopic quantum mechanics. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. November 7, 1989.

Patents

Blais, F. Peak position detector. Canadian Patent No. 1,253,581. Issued May 2, 1989. NRC 31674.

Blais, F. Galvanometric optical scanning system having a pair of closely located synchronization. U.S. Patent No. 4,800,270. Issued January 24, 1989. NRC 31675.

Bock, W., and Chrostowski, J. Method and lead-through system for laying out optical fibres across an aperture of a container shell. U.S. Patent No. 4,883,336. Issued November 28, 1989. NRC 31423.

Robotics and Automation Section

Head — M.A. Barakat

Introduction

The Robotics and Automation Section is located at the Canadian Institute of Industrial Technology in Winnipeg, Manitoba. The Section conducts research in direct support of industry, in cooperation with partners from industry and universities. The main program areas are:

- robotics: applied research and development on advanced robotic systems that can adapt to uncertainties in their work environment
- industrial automation: applied research and development in the area of computer-integrated production and testing
- knowledge-based systems: development of knowledge-based systems in the areas of expertise of industrial partners

The research is related to industrial sectors such as manufacturing, processing, health care, and resource exploitation. Projects of the Section draw on existing expertise in the Laboratory for Intelligent Systems, other Laboratories within the Division of Electrical Engineering, and other NRC Divisions.

Robotics

Expert Off-line Programming System for Robotic Painting

P. Orban, G.D. Sawatzky, K.A. Miskiewicz

The objective of the project was to design and implement the skeleton of a system which automatically generates and verifies the trajectories for a painting robot. The project was carried out with industrial participation. It was terminated in early 1990 because the industrial partner has refocused its efforts in that area to other goals.

During the course of the project an initial system design was completed and detailed descriptions for the different system modules were specified. A detailed investigation was carried out on the suitability of the McDonnell Douglas Unigraphics CAD/CAM system and the Robotic Simulator System for use in the paint programming system. A finite element analysis program was completed and demonstrated to simulate the paint deposition process. An initial version of a program to visualize the paint deposition results on a Macintosh II computer was completed, and a method to compensate in real time for trajectory inaccuracies developed.

[1]Bristol Aerospace Ltd., Winnipeg, Manitoba.
[2]Standard Aero Ltd., Winnipeg, Manitoba.

Industrial Automation

Vision-based Inspection System for Sheet Metal Parts

S.F. El-Hakim, R. Rai[1]

A vision-based inspection system to inspect sheet metal parts up to 60 cm × 60 cm × 20 cm is being developed. The system is to be fully integrated, stand-alone, low cost, and flexible. It must be able to inspect parts typical of those manufactured at Bristol Aerospace. Features to be measured are mainly holes and edges. The requirement varies depending on the part, most often the position of hole centers, hole diameters, length and width of the part, and angles between edges are to be measured.

Since 200 new parts would be inspected every year, the method of entering a new part in the database (the training mode) is critical. The training time is specified to be less than one half the time it currently takes Bristol to do a Dimensional Inspection Report (DIR). In runtime mode, the inspection should take no more than one third the time it takes to inspect the parts with the current manual process. Development of algorithms for edge and hole object-coordinate measurements and experiments with different lighting techniques are now in progress.

Automated Flexible Inspection System

S.F. El-Hakim, G. Taylor[2]

Inspection is the most labor intensive portion of the aircraft turbine engine overhaul process and, over the past three decades, there has been little change in the way in which these inspections are performed. The dimensional measurement is generally accomplished by mechanical means, but recent progress in computer technology and machine vision systems should allow the realization of a low-cost intelligent measurement system which will have a measurement accuracy of 25 μm on a 300 mm diameter object.

The proposed system consists of the stereo vision subsystem and the image comparison subsystem. The stereo vision subsystem is a single-camera multiple-view arrangement. The object is placed on a specially designed platform which has permanent camera calibration points. Multiple images may be taken by tipping the platform, and automatic zooming capability, to improve the measurement accuracy, may also be implemented. The image comparison subsystem will compare the image of parts requiring rework to the standard image stored in the library. The main purpose of the comparison is to detect damaged or missing elements; no critical dimensions will be measured.

Since the required accuracy is near the present theoretical limits of vision technology, state-of-the-art hardware, such as 1024 pixel × 1024 pixel cameras, will be used. Extensive accuracy analysis, error detection from all possible sources, and modeling of the errors are essential. In addition, techniques for measurement on edges with subpixel accuracy (better than 0.05 pixel) must be utilized or specially developed. Design of the lighting system and a stable platform and camera mounts are also critical.

After careful evaluation of commercially available image processing systems and solid state cameras, the system hardware configuration has been selected. A vibration-stable optical bench, camera mounts, and some lighting fixtures have been installed in the CIIT laboratory. The tipping object platform and the control points have been designed and manufactured. The subpixel accuracy edge measurement technique is now being developed.

Automated Dental Restoration System

C.J. Wu, H. Liontas, M.K.C. Yeung, P. Chartier, P. Orban, J. Domey, M. Rioux, C. Lavelle,[1] R. Jordan[1]

Progress in the area of CAD/CAM means that this technology is now being applied in the medical domain. For example, the advantages of a CAD/CAM system in the field of dental restoration are so numerous that this technology is expected to completely change clinical dentistry. Discussions on this topic have been published in technical journals.

Reports have appeared on three systems, but only one, which produces inlays only (the occlusal surface is created by the dentist), has been commercially delivered. The accuracy of the inlay is in the range of 100 µm. All three use a specially designed measurement system, either a hand-held probe or a stereo camera, to acquire the three-dimensional coordinates of the prepared tooth *in situ*. In principle, either the probe or the camera can make 3-D measurements to an accuracy of 25 µm or better. However, both encounter practical problems, such as occultation by gum, blood, and saliva, and difficulties with required measurement points in order to meet overall measurement accuracy of 25 µm.

The proposed system, which will manufacture crowns and other dental restorations automatically, is a combination of a state-of-the-art range system (image/data acquisition), the image processing technique (CAD), and the automated sculpture surface manufacturing technology (CAM). Use of a laser ranging system to acquire the tooth profile from the dental impression will eliminate all difficulties encountered by an *in situ* measurement system. The measured data, the nominal tooth exterior profile data which is stored in the design data file, and the user-supplied design specification will be used to make the crown design data file. A tool path for a five-axis numerically controlled micro-milling machine will be generated from the appropriate design data file.

In order to test the design concepts, to explore various design approaches, and to eliminate possible design pitfalls, a feasibility study has been undertaken with the School of Dentistry of the University of Manitoba. An experimental jaw approximately three times the size of the nominal jaw has been built and the impression of the prepared tooth has been taken using dental impression material (Fig. 1). A CAD model of a nominal tooth has been established and the external shape of the tooth has been machined. A typical machined model tooth is shown in Fig. 2. The model dental impression has been measured using a laboratory laser scanning system with accuracy better than 25 µm. A meshed 3-D representation of the prepared tooth is shown in Fig. 3. The margin and the surface condition are clearly observable on the 3-D model.

A feasibility study of an automated posterior dental restoration system has been successfully carried out and the final step of machining a crown is in progress. It has been demonstrated that the system is easy to build and does not require extensive development work. If the dental impression is used instead of *in situ* measurement, the problem of measuring the prepared tooth profile accurately can be easily circumvented. The accuracy of the

[1]University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

Figure 1. Left: Dental impression of the prepared tooth. Right: Tooth prepared for a crown.

Figure 2. A machined tooth.

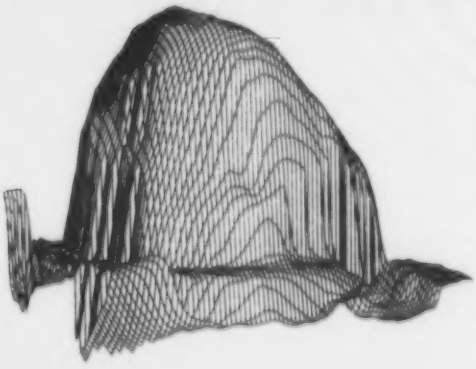


Figure 3. Measured data of the prepared tooth in meshed form.

machined crown is limited by the reproducibility of the impression taken by the dentist. Both the laser range scanning system and the micro-milling machine have accuracy better than 25 μm. With the use of appropriate material to make an accurate impression, it is believed that a machined crown with accuracy in the range of 25 μm at the critical areas can be achieved.

Custom Orthopedic Seating

P. Orban, S.F. El-Hakim

As discussed in last year's *Bulletin*, 3(3), Otto Bock of Canada and CIIT are working together to design and implement a computerized system that would facilitate easy, fast, and cost-effective design and production of 3-D positive molds for custom orthopedic seating systems. The Company has developed a proprietary custom-contoured cushion production system for clients with specific needs. The system involves vacuum forming a contoured cushion around an anatomical positive of the client. The positive is a plaster cast that currently is fabricated manually from bead bag contours, obtained by forming the bag around the seated client. The major constraint to wide availability of the technique, and hence greater proliferation of the custom system into the market, is the current procedure of making the anatomical positive. The proposed system should reduce considerably the time and effort spent on producing the mold.

During the past year a working system for digitizing the bead bags with stereo vision has been demonstrated using the current

computer hardware at CIIT. A new low-cost hardware configuration and camera mounts are being designed to ensure the commercial viability and practicality of the system. The same system will also be used for computer-aided socket design applications at Otto Bock.

Grain Elevator Automation

H. Liontas, J.L. Allston

This joint project with Digital Equipment Corporation and Pioneer Grain is intended to identify the new generation of computer hardware, software, and communication methodologies which will be required by the grain industry for its remote grain elevators.

The grain industry is investigating the replacement of existing computer systems with a new generation of equipment. This equipment not only assists in the operation of grain elevators but also facilitates the provision of information services to clients. The new hardware must be able to survive within the harsh environment of a grain elevator. The new software development tools and the operating system must not only increase programmer productivity but also have the capabilities for computer networking and distributed databases. In recent years, computer systems manufacturers have recognized the potential market that exists within the grain industry and have focused on responding to these requirements.

The environmental and communication studies have now been completed and reports produced. Hardware which will meet the environmental requirements has been identified and software development tools and the operating system and communication equipment have been identified and proposed. A preliminary relational database design was completed and implemented as part of the software evaluation phase. The pilot phase will begin as soon as the grain industry partner selects the appropriate hardware and software.

Continuous Acoustic Emission Monitoring System

K.A. Miskiewicz

As described in last year's *Bulletin*, 3(3), the objective of this project with Monac Acoustic Monitoring International Inc. is to produce the first commercial version of a continuous acoustic emission (AE) monitoring system which uses a technique patented by N. Bassim, Vice-President and Technical Director of Monac.

The prototype surveillance unit has now been successfully completed. Beta tests in the laboratory environment, railway bridges, high power transformers, power generators, etc., have been performed and encouraging results have been obtained. The prototype design will be the basic production unit.

A program with an intelligent user interface has been developed to analyze field acquired data sets. The possibility of using an induction process for pattern recognition has been extensively studied and, because of the complexity of the hardware and software configuration, it has been agreed that digital processing techniques should not be implemented at this time. The present design will be used as the first generation production unit.

Self-navigating Vehicle

M.A. Barakat, R. Kjaldgaard[1]

The global objective of this project is to develop, in collaboration with FMC Canada, a self-navigating vehicle (SNV) which will not require floor-embedded guide wires to define the paths and bounds of the vehicle operation and as a communications medium between the controller and the vehicles. This will extend the potential user base by permitting applications where guide wires cannot be used. Several components of the SNV system will require development before the SNV system can be offered as a viable alternative to AGVs.

The first phase of the project will deal with the development of a communication system that does not require the guide wire. The new communication link should permit the control of a system of vehicles and its environment in order to operate the whole system as an integrated network. Preliminary investigation has indicated that a specially designed radio-frequency (RF) link is an appropriate choice. Radio-frequency communication has been used in previous AGV applications but limitations in data rate and link integrity have prevented complex applications. Advances in RF communication hardware and new techniques, such as spread spectrum, make this a viable choice. Future phases of this project will deal with issues of self-guidance.

Centralized Automated Manufacturing Cell

M.K.C. Yeung

The development of a CAMC, a centralized control cell for computerized controllable equipments, to administer the operation of the entire manufacturing facility at CIIT was discussed in the last *Bulletin*, 3(3). In addition to our CNC

[1] FMC of Canada Limited, Toronto, Ontario.

equipment, CIIT recently acquired a Stereo-Lithography Apparatus (SLA). Integration of this new equipment into the CAMC structure is being studied.

Integrated Numerical Control

M.K.C. Yeung

Integrated numerical control (INC) is an on-going project with ICAM Technologies Corporation to develop a cost-effective CNC management system. It is aimed at solving problems of NC file management and CNC control centralization, as discussed in the *Bulletin*, 3(3).

Phase one of the project includes the analysis, design, and development of file management software, and software for communication and network control. Detailed analysis and preliminary design has been completed.

Contactless Testing of Printed Circuit Boards

Z.A. Delecki, M.A. Barakat, J. Solferman,[1] Y. Yan[1]

The testing of printed circuit board (PCB) assemblies is becoming increasingly difficult and expensive as integrated circuits become more complex, clocks become faster, and the use of surface-mount technology increases. This has made board components less accessible via conventional methods.

Conventional automated testing of PCBs is performed by applying voltages and signals through a set of test pins and measuring output signals at other test pins. This method requires tight mechanical tolerances for board layout and restricts the frequency at which a board can be tested (most of the test systems are limited to 100 MHz). A contactless test system (CTS), using the electromagnetic near field distribution in the vicinity of the PCB, is under development in cooperation with Wardrop Engineering Inc.

Recent advances in automated testing have resulted in a device for evaluation of the electromagnetic performance of PCB assemblies.[2] However, the device in its present form provides information about electromagnetic interference caused by a PCB under test and limited information about the quality of the PCB. Moreover, it is very expensive and is not suitable for automated contactless testing.

The need to extend existing knowledge about sensing techniques for electromagnetic field distributions in the vicinity of a PCB has resulted in a new sensor design at CIIT. The test system is based on the interrelation between current, charge, and electric and magnetic field intensities. A working PCB assembly is stimulated with a specific input signal. Small planar antennas are used as electric and magnetic field sensors whose signals are coupled to sources on the PCB. A number of electromagnetic sensors have been developed and their performance evaluated to determine the optimum frequency range for a given sensor. The most important problem in interpreting the data from these sensors is to include the effect of proximity, which results in complex interrelations between parameters of the source and the sensor.

The hardware architecture for the system is shown in Fig. 4. The software (Fig. 5) incorporates packages for on-line and off-line processing of data. Auxiliary signal processing is performed in the time and spatial domains. However, the main research focus is on spectral domain processing. The information acquired from the digitizing oscilloscope and sensor controller are preprocessed in the time and spectral domains, an estimate of the pixel value is computed for each channel, and the electromagnetic signature of the PCB under test is converted into an image. Future research will include identification of a fault or an out-of-tolerance condition by utilizing a knowledge-based fault recognition system.

Development of a calibration technique for the system is another important and difficult problem. Special calibration boards with simulated faults are to be used to determine the sensing

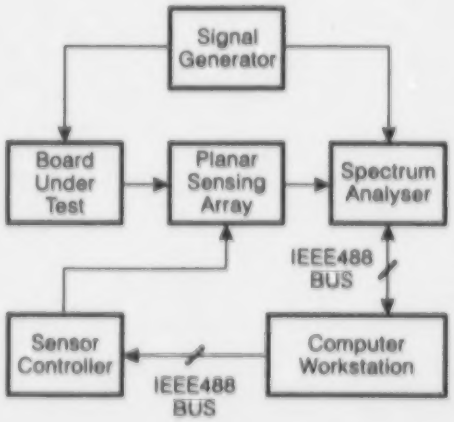


Figure 4. The hardware architecture of the contactless test system.

[1] Wardrop Engineering Inc., Winnipeg, Manitoba.
[2] Northern Telecom EMSCAN System.

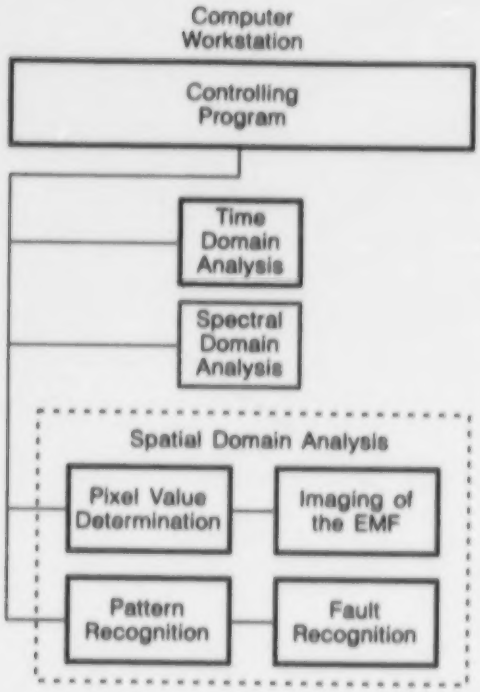


Figure 5. The software architecture of the CTS.

array performance under various fault conditions.

The main features of the Contactless Test System (CTS) can be summarized as follows: testing may be performed during the production process; lack of contact with the board under test makes the system universal, i.e., the same test system can be used to test any PCB assembly without the need of special fixtures; high-frequency analog and digital PCBs can be tested up to 1 GHz; the test system under development contains a fault recognition system capable of analyzing problems during the test process. This significantly reduces the costs of PCB testing.

The work is supported by an NRC-IRAP grant.

Expert Systems

Expert System for Resistance Welding

G.D. Sawatzky, R. Jackson, N. Pizzi, J. Davies,[1] K. Johnson[1]

This project involves the development of an expert system for specifying parameters for resistance welding. This system will accept a description of the materials to be welded along with their weld requirements, and produce an initial set of welding parameters (current, pressure, time) and a description of electrodes to be used. Based on the description of the resulting weld nugget, changes to the weld parameters are suggested. Sources of knowledge for the development of this system are the resistance weld documentation from Bristol Aerospace, interviews with Bristol's best resistance welder, and available reference material.

Phase one of this project involved determination of the knowledge required to establish a set of parameters that would weld a typical material within specifications. This phase is complete and a report on the findings has been submitted to Bristol Aerospace.

Expert Scheduling System for Softgoods Manufacturers

G.D. Sawatzky

Strategic Innovations Inc. is a software development company working with Canadian softgoods manufacturers to develop an expert scheduling system as a commercial product for the garment industry. The company completed their CIIT partnership in the summer of 1989. The Common LISP prototype has been licensed to the company for further development for a period of five years. Based on interest shown by potential users, the company has continued development of a commercial version of this prototype. The company will continue improvement of the prototype and the commercial product based on feedback from industrial users and interviews with scheduling experts. Sample screens from the LISP prototype are shown in Fig. 6.

Clinical Detection of Deep Vein Thrombosis

N. Pizzi, R. Jackson, G. Meszaros,[2] D. Joubert[2]

As discussed in the previous *Bulletin*, 3(3), an automated diagnostic system for Deep Vein Thrombosis (DVT), the clotting of blood in the heart and the great vessels, is being developed in cooperation with St. Boniface General Hospital, to assist the clinical specialist in improving the detection rate of this affliction. The objectives are to: incorporate the traditional statistical analysis techniques normally used in clinical research projects for the detection of DVT; introduce qualitative data into the system such as data from patient activity charts and nursing observation charts; and study the feasibility of generalizing the system to a diagnostic tool for any medical research project in clinical epidemiology.

[1] Bristol Aerospace Limited, Winnipeg, Manitoba.
[2] St. Boniface General Hospital, Winnipeg, Manitoba.

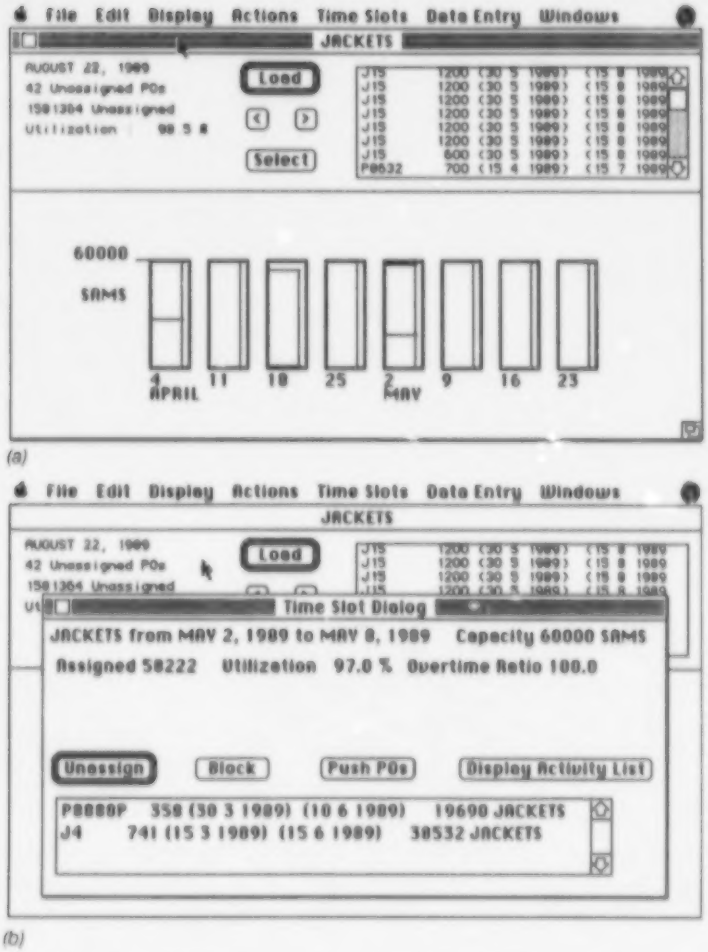


Figure 6. Sample screens from the expert scheduling system prototype.

The system will be developed in parallel with the traditional method of data extraction and statistical analysis by the clinical researchers. The first prototype of the automated data collection utility has been completed and is currently being used by the research team to build the database of patient population.

Chemotherapy Advisory System

R. Jackson, G.D. Sawatzky, N. Pizzi, D. Pascoe,[1] D. Scuse,[2] G. Hogue[3]

The Chemotherapy Advisory System (CAS) is an expert system that will assist oncologists to prepare comprehensive chemotherapy treatment plans/protocols for subsequent use by chemotherapy administration professionals at treatment locations. At the treatment location, CAS will allow entry and maintenance of patient-specific and treatment-related information such as clinical test results, physical observations, progress notes, and treatments administered. Based on this information, CAS will then apply the oncologist expertise resident in the treatment plan and generate treatment modification advice for use by the professional administering the chemotherapy. The advice will be patient-specific and relate to toxicity recognition and drug dosage modification and scheduling. The CAS will also sort and report information required to support research and clinical trials.

The development of CAS is a Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation (MCTRF) project in partnership with Price Waterhouse and in collaboration with the University of Manitoba and the NRC. The project has received funding from the Canada/Manitoba Communications and Cultural Enterprises Subsidiary Agreement, which is administered by Communications Canada.

During the development phase, microExplorers will be used to construct a Chemotherapy Treatment Plan Builder and 386-based PCs will be used to develop the Treatment Plan Advisor. The Treatment Plan Builder will allow qualified health care professionals to transfer the knowledge contained in a treatment plan document to a knowledge base. The Treatment Plan Builder's inference engine and knowledge base will be implemented in Common LISP and Flavors. The output of the Builder will be Protocol Knowledge Packets (PKP), each packet containing a complete validated and verified treatment plan. The Builder will be alpha- and beta-tested at the Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation. The Robotics and Automation Section is responsible for the design and development of the Treatment Plan Builder including the regression tester, automated test case generator, and the protocol knowledge translator.

The Treatment Plan Advisor will, in its initial stand-alone implementation, assist Outreach Centre nonspecialist health care professionals in the administration of chemotherapy treatment plans. The Treatment Plan Advisor will be implemented in C and CLIPS and linked to PKPs and medical diagnostic data stored in a database running under MS-DOS on 386-based PCs. The Advisor will be alpha-tested at MCTRF and subsequently beta-tested at two Outreach Clinics.

[1]Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation, Winnipeg, Manitoba.
[2]University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.
[3]Price Waterhouse, Winnipeg, Manitoba.

Recent Papers

Published

Delecki, Z.A. A representation of the boundary condition for the macroscopic magnetic field intensity. Can. J. Phys. 67(10): 939–945; 1989. NRC 30899.

Delecki, Z.A. A generalization of the representation theorem for the vector wave equation. Proceedings of the 1989 URSI International Symposium of Electromagnetic Wave Theory, Stockholm, Sweden. August 13–17, 1989. 2 pages. NRC 31314.

Delecki, Z.A., and Stuchly, S.S. Analysis of the open-ended coaxial dielectric sensors. J. Electromag. Waves and Applic. 4(2): 169–183; 1990. NRC 30981.

Delecki, Z.A., Barakat, M., Kroker, H., Shafai, L., Pawlak, M., and Soiferman, L. Near field receiving properties of printed loop antennas. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, P.Q. September 17–20, 1989. Vol. II, pp. 1106–1108. NRC 30904.

El-Hakim, S.F. Development of stereo vision for industrial inspection. Proceedings of Instrument Society of America (ISA) Symposium, Calgary, Alta. April 3–5, 1989. pp. 163–178. NRC 30106.

El-Hakim, S.F., and Barakat, M.A. A vision-based coordinate measuring machine (VCMM). Proceedings of the Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Vienna, Austria. September 18–20, 1989. pp. 216–228. NRC 30680.

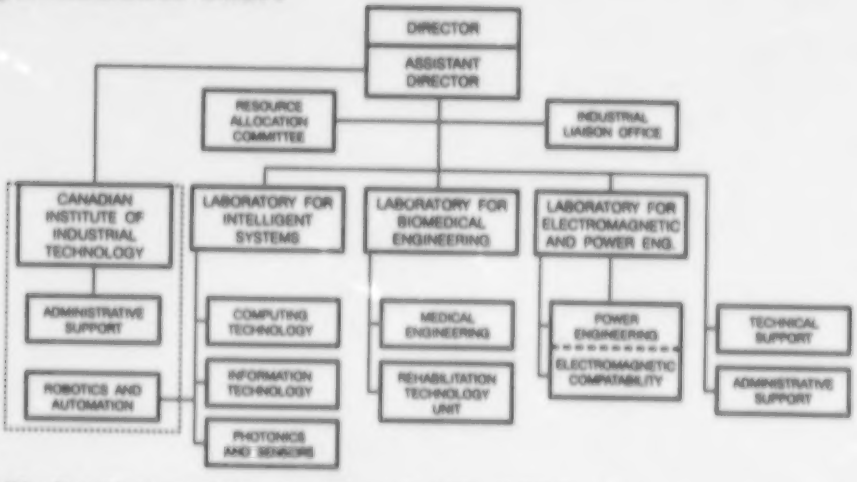
Presented

Barakat, M. Collaborative research at the Robotics and Automation Section. NRC/DEE Science Association, Ottawa, Ont. February 6, 1990.

Wu, C.J., and Liontas, H. A scheduling program for steel minimills. Reynolds Aluminium Company of Canada, Cap-de-la-Madeleine, P.Q. February 1989.

Appendix

Organizational Chart



Staff, April 1, 1989, to March 31, 1990

Director General— S.A. Mayman

Assistant Director — M.M.C. Collins

Director General's Secretary — A.C. Dunn

Principal Research Engineer — J.Y. Wong

Industrial Liaison Office — A.M. Hlady

Arnold, J.G.
Chartrand-Mulvey, L.
Neal, G.
O'Hara, D.H.
Scrimgeour, J.H.C.

Guest Workers

Pepple, W.R.[1]
Watkin, J.[2]

Administration and Materiel Management — M.M. Fox

Administrative Office

Crupi, F.
Houle, C.
Kenny, S.
Lambert, C.
Manson, M.

Supply Office and Stores — G.H. Weston

Bedard, M.
Lamont, J.D.
Lawson, K.[3]
Osborn, L.
Wilson, D.G.D.
Woods, J.[4]

Temporary Assistants

Branchaud, R.M.
Zumbach, W.

---

[1] Royal Canadian Mounted Police, Ottawa, Ontario.
[2] Canadian Police Research Centre, Ottawa, Ontario.
[3] On secondment from Personnel Branch.
[4] On secondment from Administrative Services and Property Management Branch.

Technical Services — C.C. Eamer

Development Workshops

Bouchard, S.
Bramall, B.K.
Curry, D.
Dunlop, D.A.
Farr, B.C.
Hendley, J.G.
L'Abbé, P.C.
Lajeunesse, M.
Legere, J.
Marchington, D.C.[1]
Player, M.J.
Pollex, G.P.[2]
Poulin, D.A.W.
Preece, N.[3]
Taylor, A.R.
Tierney, K.G.

Guest Workers

Rocheleau, K.[4]
Stimson, S.[5]
White, G.[6]

Drafting and Photography

Ablack, V.G.
Amirault, P.C.
Cameron, L.A.
Gamache, D.
Schoenherr, K.
Vallières, R.A.
Walker, G.D.

Editorial Office — E.M. Kidd

Tierney, T.A.

Laboratory for Biomedical Engineering — O.Z. Roy

Medical Engineering — O.Z. Roy

Scientific Staff

Black, R.C.
Crabtree, D.
Durie, N.D.
Forester, G.V.
Korba, L.W.
Lang, S.
Mortimer, A.J.
Nedelec, J.-F.
Nelson, P.J.
North, G.M.

Technical Staff

Chagnon, J.
Farley, R.[3]
LaFleur, C.
McSheffrey, L.
Park, G.C.
Saver, W.
Scott, J.
Skrypnyk, R.[7]
Statham, A.[7]
Trollope, B.J.
Villeneuve, E.J.

Guest Workers

Akyurekli, D.[1]
Armstrong, G.W.D.[8]
Choo, C.[8]
Chow, D.[9]
Didenko, Y.[10]
Dolan, C.[4]
Etzion, G.[11]
Gerig, L.[9]
Gilbert, S.[9]
Harrison, S.[4]
Hosseinzadeh, K.[9]
Johnson, K.[8]
Maule, A.[12]
Peterson, E.[9]
Rasmusen, K.[4]
Runolfson, R.[8]
Selk, E.[8]
Weber, A.[8]
Wilson, J.[4]
Yeadon, A.[9]

Students

Danelice, M.
de Souza, P.
Ferguson, D.
St. Amand, M.

Rehabilitation Technology — J. Bateman

Scientific Staff

Bennett, W.G.
Clark, I.P.
Liu, A.J.W.

Technical Staff

Ayvazyan, H.
Kennedy, L.L.
Tam, M.
Tremblay, R.

Student

Wong, L.

---

[1] Transferred to the Division of Physics in November 1989.
[2] Retired in January 1990.
[3] Retired in March 1990.
[4] Terray Corporation, Arnprior, Ontario.
[5] Sir Wilfred Laurier High School, Ottawa, Ontario.
[6] Sault Ste. Marie College of Applied Arts and Technology, Sault Ste. Marie, Ontario.
[7] Retired in June 1989.
[8] Carleton University, Ottawa, Ontario.
[9] Ottawa Civic Hospital, Ottawa, Ontario.
[10] Pacific Oceonological Institute, Far East Branch, Academy of Sciences of the USSR, Vladivostok, USSR.
[11] Etzion Engineering, Haifa, Israel.
[12] Ottawa Mobility Manufacturing, Nepean, Ontario.

Laboratory for Electromagnetic and Power Engineering — M.M.C. Collins

Power Engineering — W.J.M. Moore

Scientific Staff

Arseneau, R.J.
Bamji, S.S.
Bulinski, A.T.
Densley, R.J.
Filpski, P.S.
Kashyap, S.
Kekez, M.M.
LoVetri, J.
McComb, T.R.
Podgorski, A.S.
Seregelyi, J.
So, E.

Technical Staff

Angelo, D.J.
Bennett, D.
Cassidy, B.R.
Cook, P.R.
Cossette, L.[1]
Dagg, G.B.
Dunn, J.G.
Gibson, G.
Grünwald, A.
Hoffman, D.R.
Rait, J.
Robert, J.E.P.
Rocheleau, D.O.
Sabourin, L.[2]
Williscroft, G.
Zelle, J.J.

Visiting Research Officer

Mijanic, P.[3]

Visiting Research Scientist

Das-Gupta, D.K.[4]

Guest Workers

Antar, Y.M.M.[5]
Gauthier, R.[6]
Gravelle, L.[7]
Hendry, A.[8]
He-Sheng, T.[9]
Hurd, R.A.[8]
Kovacevic, D.[10]
Matsuki, M.[11,12]
Muto, I.[11,12]
Sakumoto, Y.[12]
Tong-Chun, Z.[9]
Wartak, M.S.

Temporary Assistants

Fashandi, R.
Graham, D.P.W

Students

Knobel, R.
Ledig, B.
Meginbir, D.
Sychaleun, S.

Laboratory for Intelligent Systems — M.M.C. Collins

Computing Technology — N. Burtnyk

Scientific Staff

Archibald, C.
Bechthold, G.H.
Elgazzar, S.
Evans, K.B.
Gentleman, W.M.
Green, D.A.
Hung, S.H.Y.
Kelley, J.V.
Liscano, R.
MacKay, S.A.
Merritt, C.
Roth, G.
Shepertycki, T.H.[13]
Stewart, D.A.
Wein, M.

Technical Staff

Birch, A.
Colwell, M.
Duggan, M.D.
Taylor, D.G.

Guest Workers

Baoran, J.S.[14]
Gauthier, C.[14]
Huang, Y.[15]
Kasvand, T.[16]
Normand, L.-P.[17]
Song, G.[18]
Venkatesan, S.[18]

Temporary Assistant

Fuller, M.

Students

Castonguay, A.
Krantz, M.
Wood, K.

---

[1]Resigned in April 1989.
[2]Retired in March 1990.
[3]University of Belgrade, Belgrade, Yugoslavia.
[4]University College of North Wales, Bangor, Wales.
[5]Royal Military College, Kingston, Ontario.
[6]R&D Optics, Ottawa, Ontario.
[7]University of Ottawa, Ottawa, Ontario.
[8]Retired DEE staff member.
[9]Wuhan High Voltage Research Institute, Wuhan, People's Republic of China.
[10]Institute "Nikola Tesla," Belgrade, Yugoslavia.
[11]The Furukawa Electric Co., Ltd., Tokyo, Japan.
[12]Japan Electrical Meters Inspection Corporation, Kamegaya-city, Chiba, Japan.
[13]Retired in February 1990.
[14]University of Ottawa, Ottawa, Ontario.
[15]Beijing Institute of Data Processing Technology, Beijing, People's Republic of China.
[16]Concordia University, Montreal, Quebec.
[17]Department of National Defence, Ottawa, Ontario.
[18]Shenyang Institute of Automation, Shenyang, People's Republic of China.

Information Technology — J.W. Brahan

Scientific Staff

Abu-Hakima, S.
Buck, L.J.
Craddock, A.J.[1]
Davidson, P.L.
Diaz, A.C.
El-Zorkany, H.I.
Famili, A.
Farley, B.
Halasz, M.S.
Henneker, W.H.
Orchard, R.A.
Parent, A.
Phan, C.S.
Wylie, R.H.

Technical Staff

Booth, T.A.
Born, R.V.
McEwan, L.J.E.[2]
Orpana, F.P.
Shevel, R.
Thibault, P.

Post-Doctoral Fellows

Turney, P.D.
Sosnowski, Z.A.

Guest Worker

Boulet, M.M.[3]

Students

Forest, M.
Kornelsen, K.
Sun, T.

Photonics and Sensors — J. Domey

Scientific Staff

Abdelmalek, N.
Bernard, J.E.
Blais, F.
Boulanger, P.B.
Chrostowski, J.
Godin, G.
O'Sullivan, M.S.
Rioux, M.
Dufour, A.G.
Fournier, T.[4]
Gariépy, P.
Misner, R.

Technical Staff

Cournoyer, L.
Damphousse, M.

Research Associates

Beraldin, J.-A.
Maigné, P.P.

Visiting Research Scientist

Yamamoto, M.[5]

Guest Workers

Baribeau, R.[6]
Barnard, C.W.[7]
Bélanger, J.[3]
Bing, C.[7]
Bock, W.J.[8]
Boothroyd, S.A.[7]
Chan, L.Y.C.[9]
Fontaine, M.[8]
Jiang, W.[7]
Kopola, H.[7]
Muminovic, D.[7]
Myslinski, P.[9]
Osterfeld, M.[10]
Peereboom, N.[11]
Porada, E.
Rawicz, A.[12]
Robert, J.[13]
Wartak, M.S.
Yuen, S.[9]

Students

Cormier, J.-P.
Lazda, A.
Rousseau, D.

Robotics and Automation — M.A. Barakat

Scientific Staff

Allston, J.
Chartier, P.
El-Hakim, S.
Jackson, R.
Liontas, H.
Miskiewicz, K.A.
Orban, P.
Pizzi, N.
Sawatzky, G.D.
The, H.G.
Wilk, S.F.
Wu, C.J.
Yeung, M.K.C.

Technical Staff

Gretschmann, W.E.
Kroker, H.A.[14]

Research Associate

Delecki, A.

Guest Workers

Chung, T.[15]
Feilu, L.[16]
Lias, X.[15]
MacKay, D.[15]
Tong, D.[15]

Students

Silva, J.
Smith, D.
Wagner, R.

[1]Resigned in August 1989.
[2]Retired in February 1990.
[3]Laval University, Quebec, Quebec.
[4]Retired in April 1989.
[5]Electrotechnical Laboratory, Tsukuba, Japan.
[6]Servo-Robot Inc., Boucherville, Quebec, and Canadian Conservation Institute, Ottawa, Ontario.
[7]University of Ottawa, Ottawa, Ontario.
[8]University of Quebec in Hull, Hull, Quebec.
[9]Carleton University, Ottawa, Ontario.
[10]Universität Osnabrück, Osnabrück, West Germany.
[11]Canadian Astronautics Limited, Ottawa, Ontario.
[12]Andrew Engineering Ltd., Burnaby, British Columbia.
[13]Implant Dentaire Québec Inc., Ste. Agathe, Quebec.
[14]Resigned in September 1989.
[15]University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.
[16]Changsha Institute of Technology, Changsha, People's Republic of China.

Canadian Institute of Industrial Technology

Director — S.A. Mayman

Executive Manager — W.C. McGregor

Operations Manager — J.P. Riese

Administrative Assistant — C. Clague

Marketing and Promotional Officer — P.F. Kent

Assistant to the Operations Manager — K. Rawes

Secretary — D. Gareau

Administrative Support Clerk — A. Bolly,[1] E. Jacques[2]

CIIT'S Partners

Bristol Aerospace Limited
Canadian Healthcare Telematics Inc.
Cryodynamics Manitoba Inc.
Digital Equipment of Canada Ltd.
Electronics Industry Association of Manitoba
FMC of Canada Limited
Gene Barbee & Associates Ltd.
ICAM Technologies Corporation
Indent Technologies Corporation
Integrated Engineering Software Inc.
IRIS Systems Inc.
Linnet Graphics International
Manitoba Fashion Institute
Manitoba Research Council
Manufacturing Visits Program
Monac Acoustic Monitoring International Inc.
NRC Industrial Research Assistance Program
Online Business Systems Inc.
Otto Bock Orthopedic Industry of Canada Ltd.
Red River Community College
Robthor Steel Corporation
Slagerman Engineering Ltd.
Standard Aero Limited
Ubitrex Corporation
Universal Robotics Corporation
University of Manitoba
University of Winnipeg
Wardrop Engineering Inc.

DEE Branch Library, CISTI — J. Dyment,[3] D.R. Clark

Day, M.

Health Unit

Lorraine, L.

[1]Term completed September 1989.
[2]Temporary assistant.
[3]On nurturing leave, October 1989.

Author Index

Abdelmalek, N.N. 59
Abu-Hakima, S. 43, 46, 48
Allston, J.L. 69
Archibald, C. 36
Armstrong, G.W.D. 11
Arnold, J.G. 5
Arseneau, R. 21
Bamji, S.S. 22
Barakat, M.A. 66, 69–70
Baribeau, R. 54
Barnard, C.W. 64
Basran, J.S. 35
Batelaan, J. 16
Bechthold, G. 36
Bennett, W.G. 16
Beraldin, J.-A. 54
Bernard, J.E. 61, 63
Black, R.C. 11
Blais, F. 54, 57, 59
Bock, W.J. 63
Boothroyd, S.A. 61, 64
Boulanger, P.B. 59
Boulet, M.-M. 46
Brahan, J.W. 43, 46, 50
Buck, L.J. 43, 45, 50
Bulinski, A.T. 22
Burtnyk, N. 32, 35
Chan, L. 61, 64
Chartier, P. 67
Chow, D. 11
Chrostowski, J. 61, 63–64
Clark, I.P. 16
Cole, A. 46
Collins, M.M.C. 19, 29
Craddock, A.J. 46
Davidson, P.L. 48
Davies, J. 71
de Souza, P. 11
Delecki, Z.A. 70
Densley, R.J. 22
Diaz, A.C. 50
Dolan, C. 11
Domey, J. 54, 67
Durie, N.D. 10
Elgazzar, S. 34, 37
El-Hakim, S.F. 66, 68
El-Zorkany, H.I. 43
Famili, A. 43
Farley, B. 43–44, 46
Filipski, P.W. 21
Forester, G.W. 13
Foux, A 11
Gauthier 32
Gentleman, W.M. 32
Gilbert, S. 11
Godin, G. 57, 59
Green, D.A. 37–38
Halasz, M.S. 48
Hartley, R. 46
Hasson, Q. 46
Henneker, W.H. 43, 46
Hlady, A.M. 3
Hogue, G. 72
Hosseinzadeh, K. 11
Hung, S.H.Y. 39
Jackson, R. 71–72
Johnson, K. 71
Jordan, R. 67
Joubert, D. 71
Kashyap, S.C. 25
Kekez, M.M. 24
Kelley, J.V. 32
Kjaldgaard, R. 69
Kopola, H. 63
Korba, L.W. 10
Kovacevic, D. 21
Land, S. 10
Lavelle, C. 67
Liontas, H. 67, 69
Liscano, R. 37–38
Liu, A.J.W. 16
LoVetri, J. 24
MacKay, S.A. 32
Maigne, P.P. 61
McComb, T.R. 21
Merritt, C. 36–37
Meszaros, G. 71
Miljanic, P. 21
Miskiewicz, K.A. 66, 69
Moore, W.J.M. 21
Mortimer, A.J. 11
Muto, H. 22
Neal, G. 3
Nelson, P.J. 10
North, G.M. 11
O'Hara, D.H. 3
Orban, P. 66–68
Orchard, R.A. 43, 46, 50
Osterfeld, M. 63
O'Sullivan, M.S. 54, 61, 64
Parent, A.T. 46
Pascoe, D. 72
Pascot, D. 46
Peereboom, N. 61
Phan, C.S. 46, 48
Pilkington, R. 46
Pizzi, N. 71–72
Podgorski, A.S. 24
Rai, R. 66
Raizenne, M.D. 11
Rasmuzen, K. 11
Rioux, M. 54, 57, 59, 67
Roth, G. 37
Roy, O.Z. 7, 10
Sakumoto, Y. 21
Sawatzky, G.D. 66, 71–72
Scrimgeour, J. 4
Scuse, D. 72
Seregelyi, J. 25
So, E. 21
Soiferman, J. 70
Soznowski, Z.A. 50
Stewart, D.A. 32
Swinkels, G.M. 50
Taylor, G. 66
Turney, P.D. 43
Uhthoff, H.K. 11
Venkatesan, S. 36
Wartak, M.S. 24, 64
Wein, M. 32
Wilson, J. 11
Wu, C.J. 67
Wylie, R.H. 50
Yamamoto, M. 59
Yan, Y. 70
Yeadon, A. 11
Yeung, M.K.C. 67, 69–70
Yuen, S. 64

Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada
Division de génie électrique
Division of Electrical Engineering
ISSN 0706-8426

Bulletin de la Division de génie électrique

1989–1990

Canada

Bulletin de la Division de génie électrique

1989–1990

Bulletin de la Division de génie électrique

CNRC Ottawa mai 1990
Volume 3, numéro 4

Copyright 1990 par Conseil national de recherches du Canada

Il est permis de citer de courts extraits et de reproduire des figures ou tableaux du présent bulletin, à condition d'en identifier clairement la source.

Des exemplaires supplémentaires gratuits peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Bureau des publications, Pièce 301
Division de génie électrique
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) Canada
K1A 0R6

Table des matières

Introduction 1

Bureau des relations industrielles
- Organisation et activités 3
- Technologies manufacturières de pointe et automatisation industrielle 4
- Programme sur la sécurité publique 5
- Mémoires récents 6

Laboratoire de génie biomédical
- Objectifs 7
- Description du programme 7

Section de génie médical
- Mise au point d'un véhicule autonome pour des applications en soins de santé 10
- Orthopédie 11
- Effets des rayonnements non ionisants 13
- Mémoires récents 14

Unité de technologie de la réadaptation
- Technologie de la production d'aides pour handicapés 16
- Mémoires récents 17

Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie
- Objectifs 19
- Description du programme 19

Section d'énergie
- Mesures de précision en électricité 21
- Isolants électriques 22
- Brouillage et compatibilité électromagnétiques 25
- Mémoires récents 26

Laboratoire des systèmes intelligents
- Objectifs 29
- Description du programme 30

Section d'automatique
- Introduction 32
- Architectures de multiprocesseurs pour la commande en temps réel 32
- Robotique à capteurs 34
- Robot mobile pour les applications en soins de santé 38
- Mémoires récents 41

Section de recherches en informatique
- Introduction 43
- Systèmes à base de connaissances 43
- Systèmes conseillers intelligents 46
- Suivi de l'état des moteurs 48
- Systèmes experts en temps réel 51
- Mémoires récents 53

Section photonique et capteurs
- Introduction 55
- Vision 3D 55
- Traitement de données et capteurs 62
- Mémoires récents 66

Section de robotique et automatisation
- Introduction 68
- Robotique 68
- Automatisation industrielle 68
- Systèmes experts 73
- Mémoires récents 75

Annexe
- Organigramme 77
- Personnel, 1er avril 1 1990 au 31 mars 1990 77

Répertoire des auteurs 82

Division de génie électrique

Introduction

Le présent numéro sera probablement le dernier du *Bulletin de la Division de génie électrique*. Au moment où j'écris ces mots, on est en train de planifier une réorganisation importante du Conseil national de recherches. On s'attend cette réorganisation se traduise notamment par la disparition de la Division de génie électrique en tant que telle et le transfert de ses activités à plusieurs nouveaux instituts et programmes.

Le premier *Bulletin de la Division de radio technique et de génie électrique* (DRGE) du CNRC a été publié par le Bureau des documents de la DRGE en mai 1951. Il brossait un tableau des programmes de la Division, qui portaient alors sur l'utilisation de techniques radar pour résoudre les problèmes associés à la navigation maritime et aux levés topographiques aériens, la recherche fondamentale en électronique et en radiophysique, le développement d'appareils en vue de la production, de l'émission et de la réception de micro-ondes et des travaux portant sur des problèmes particuliers dans le domaine du génie électrique, y compris de l'électronique appliquée. Ce *Bulletin* avait pour objectif de souligner les nouveaux projets et les aspects innovateurs des travaux de R&D effectués par la Division, particulièrement ceux qui pourraient intéresser l'industrie canadienne de l'électricité et de la radiotechnique. On y décrivait brièvement plusieurs projets et on y annonçait de nouveaux projets entrepris par la Division. Ce premier *Bulletin* comptait de huit pages (en anglais seulement). On l'imprima en sept cents exemplaires, dont environ 170 furent distribués aux industries canadiennes.

Le *Bulletin* fut publié trimestriellement de mai 1951 à mars 1972. La longueur des numéros variait entre 4 et 92 pages et les sujets abordés étaient de plus divers : «Antenne en losange pour téléviseur à ondes décimétriques (UHF)», «Orgue électronique à clavier tactile», «Artériographie coronarienne», «Production sur ordinateur de modèles graphiques animés». À la fin des années 50, la liste des publications de la Division a été élargie afin d'inclure les brevets, les conférences et les articles publiés dans des revues. La publication du *Bulletin* a été interrompue de mars 1972 à octobre 1975, mais en 1967 la Division a commencé à publier un bulletin mensuel qui comprenait plusieurs pages dactylographiées de rapports de recherche et les bulletins mensuels de 1973 et de 1974 étaient beaucoup plus longs que ceux publiés précédemment. Le premier *Bulletin de la Division de génie électrique* a été publié en 1975. Depuis ce temps, ce bulletin a été publié annuellement et chaque numéro contient un compte rendu de tous les projets entrepris par la Division. À partir du milieu des années 60, on publiait de temps à autre des articles en français et c'est en 1976 qu'on a publié le premier numéro bilingue. Le tirage a atteint de 1000 à 1200 exemplaires, distribués surtout au Canada aux milieux industriels et universitaires. Un examen rapide des numéros précédents donne un aperçu des travaux de R&D effectués au CNRC dans le domaine du génie électrique. Certains sujets font leur apparition, puis sont remplacés par de nouveaux. Les noms de certains scientifiques y sont d'abord mentionnés à titre d'adjoints et, par la suite, principaux collaborateurs. Les méthodes de publication ont changé — on passe de la machine à écrire, en 1952, au système d'édition électronique utilisé actuellement. Mais le *Bulletin* a toujours fourni des renseignements clairs et concis sur la recherche effectuée par la Division.

La suppression du nom — Génie électrique — et la disparition du *Bulletin* ne signifient pas que les travaux de recherche actuellement en cours et décrits dans ce numéro seront abolis. Compte tenu des changements subis depuis la création de la DGE, par suite de l'adoption de nouvelles technologies, et de la nécessité de mieux gérer au moyen de ressources de moins en moins abondantes, il a bien fallu se rendre à l'évidence : de nouvelles structures organisationnelles seraient probablement plus efficaces que la structure existante. La plupart des travaux portant sur le génie en matière d'énergie, par exemple, se rapprochent plus étroitement des travaux ayant trait aux normes relatives aux mesures de base, effectués par la Division de physique, que des travaux de recherche en

matière d'informatique de pointe, qui ont fini par dominer le programme de la DGE. La réorganisation tiendra compte de ces affinités.

Les programmes décrits dans ce numéro conviennent bien pour donner un dernier aperçu des travaux effectués par la Division de génie électrique. Ils englobent une grande variété d'objectifs et une vaste gamme de technologies. Ils sont réalisés partout au Canada et ils influent sur les composantes sociales et technologiques fondamentales du pays. Ils font preuve d'excellence tant par leur conception que par leur exécution. Les rédacteurs du premier *Bulletin* — les pionniers de la Division — en seraient fiers.

S.A. Mayman
Directeur général
Division de génie électrique
Mai 1990

Bureau des relations industrielles

Agent des relations industrielles — A.M. Hlady

Organisation et activités

A.M. Hlady, G. Neal, D.H. O'Hara

Les activités de R&D réalisées de concert avec l'industrie canadienne, ou pour lui venir en aide, demeurent la principale raison d'être de la Division de génie électrique (DGE). Afin d'encourager et de faciliter l'interaction avec l'industrie, la Division s'est dotée d'un Bureau des relations industrielles (BRI) qui lui sert de point de contact avec d'éventuels clients et partenaires. Le BRI organise des discussions préliminaires, afin d'aider des organismes de l'extérieur à évaluer dans quelle mesure les laboratoires de la DGE peuvent leur être utiles, soit par des travaux exécutés pour leur compte ou de concert avec eux, ou par le transfert de technologies nouvelles. Si les ressources intellectuelles et la technologie de la DGE répondent à un besoin donné, le BRI, de concert avec un client ou un partenaire potentiel et des gestionnaires de projets de laboratoire du CNRC, cherche à préciser quelle doit être la relation de travail appropriée. Malgré la priorité qu'il accorde à l'industrie, le Bureau prépare également des ententes conjointes et des protocoles d'entente avec des universités, en plus de mettre sur pied des projets avec l'aide de ministères ou pour le compte de ceux-ci.

La DGE peut collaborer de différentes façons avec des compagnies et des organismes de l'extérieur. Par exemple, un représentant de l'organisme partenaire peut travailler avec des chercheurs du CNRC pendant un certain temps et utiliser les installations du Conseil dans le cadre de projets de transfert d'une technologie issue d'un laboratoire du CNRC ou de projets conjoints de R&D dans le cadre desquels les deux parties poursuivent un objectif commun. Bien que la DGE ne puisse accueillir qu'un nombre limité de travailleurs invités, cette méthode de collaboration a fait ses preuves. Selon la nature du projet, il peut concevoir d'autres formes de collaboration, de la réalisation de projets conjoints à frais partagés au recouvrement total des coûts liés à un projet exécuté par le CNRC.

Un des rôles du BRI consiste à faciliter la passation d'un «marché» entre un organisme du secteur privé et un laboratoire de la DGE après que les discussions préliminaires aient montré que les deux parties tireraient des avantages éventuels d'une relation de travail. À partir d'une description technique générale de la portée du travail ou des exigences du client, le BRI et le client potentiel (ou partenaire potentiel) choisissent le mode d'action global le plus approprié aux exigences du projet. Pour choisir une méthode de travail avec un client ou un partenaire, le BRI consulte des collègues des laboratoires du CNRC, ainsi que des spécialistes du marketing et des services juridiques, financiers et administratifs de cet organisme. Lorsque les deux parties sont satisfaites des modalités du projet, l'entente est entérinée par la ratification d'un accord garantissant que les deux parties ont des vues identiques quant à leurs rôles et à leurs apports respectifs et à des questions telles que les droits de propriété et de distribution associés à toute propriété intellectuelle découlant du projet. Au cours de la dernière année, le CNRC a amélioré la rationalisation de ce mode d'action par l'élaboration d'ententes dites «modèles» en matière de collaboration et de travail associé aux services.

Pour exercer un effet de levier maximum sur la recherche réalisée au CNRC, on met actuellement l'accent sur l'exécution de projets conjoints, par plusieurs organismes qui investissent des ressources dans des activités de R&D visant à satisfaire aux besoins communs d'un certain nombre de compagnies. Les participants à des projets et les promoteurs se partagent les résultats. Par exemple, la DGE a joué un rôle important dans l'exécution, de concert avec l'industrie et des chercheurs universitaires, de deux des quatre projets pluriannuels de R&D approuvés l'année dernière par le consortium PRECARN (Association pour la recherche pré-concurrentielle). Le Bureau des relations industrielles, en étroite collaboration avec le nouveau groupe des services de marketing du CNRC, veillera à exploiter plus de possibilités du genre.

L'un des principaux services que le CNRC peut offrir à ses clients et à ses partenaires est de mettre à leur disposition la grande variété de ses ressources. Pour tirer profit de ces ressources, il faut établir de bonnes communications internes. Le BRI fait partie d'un réseau non officiel comprenant les BRI des autres divisions des laboratoires du CNRC, les agents

des Services de marketing et le personnel du Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI). Ces points de contact au sein de l'organisation aident à obtenir l'assurance que les ressources les plus utiles sont mises à contribution pour régler les problèmes qui se posent. Sur un autre plan, les BRI font front commun avec les Services de marketing en vue d'améliorer le service offert. Ce groupe propose des mises à jour et des modifications aux programmes et au mode de fonctionnement du CNRC, lorsque des obstacles ou des difficultés sont mis en évidence dans le cadre de travaux antérieurs.

Entre autres fonctions, le BRI doit sensibiliser les organismes de l'extérieur au travail de la DGE aux avantages qu'elle peut leur offrir, c'est-à-dire ses compétences scientifiques et techniques, ses laboratoires et une voie d'accès aux ressources complémentaires des autres services du CNRC et d'autres organismes. Il faut beaucoup de main-d'oeuvre pour promouvoir activement les possibilités de la Division et établir des rapports directs avec chaque client potentiel. Étant donné le caractère limité de ses ressources, le BRI essaie d'abord de tirer profit des autres ressources du CNRC. Par exemple, on encourage tous les chercheurs de la DGE à établir des contacts avec l'industrie au moyen d'un fonds géré par le BRI, qui sert à couvrir les dépenses supplémentaires liées à l'analyse d'interactions éventuelles et aux déplacements dans le cadre de visites à des compagnies. Une autre façon de rejoindre les sociétés à travers le pays est de faire appel à la collaboration du réseau régional du PARI, comptant plus de 200 représentants répartis partout au pays, qui font partie de centres régionaux de technologie et d'organismes provinciaux de recherche. Le BRI est toujours à la recherche de nouvelles méthodes structurées qui permettent aux agents régionaux de renseigner la DGE quant aux besoins de l'industrie et aux différentes possibilités.

Le BRI, qui est chargé de déterminer les besoins de l'industrie et d'y répondre, demeure la porte d'entrée de la DGE. C'est en effet au Bureau que l'industrie adresse des demandes techniques et des propositions de R&D. Il s'agit alors de trouver, à l'intérieur de la Division, les compétences pertinentes ou d'acheminer la demande à une autre source, afin de fournir une réponse assez précise pour être utile au requérant. Le personnel des laboratoires de la DGE, qui examine les propositions de R&D de l'industrie pour le compte des organismes subventionnaires fédéraux, notamment le PARI/CNRC, évalue les aspects techniques en fonction de certains critères comme, par exemple, le degré de risques techniques, l'aspect novateur de la proposition et la pertinence de l'approche technique proposée. Dans certains cas, les analystes de projets peuvent formuler des suggestions constructives quant à une approche technique plus prometteuse ou à d'autres améliorations.

Au cours de la dernière année, le BRI est devenu un point central de la Division quant aux questions relatives à la propriété intellectuelle issue des laboratoires de la DGE, à savoir les inventions, les logiciels et l'expérience industrielle. Les politiques et les procédures du CNRC mettent de plus en plus l'accent sur la valeur de ce matériel en tant que produit de vente pour l'organisme. Le Bureau formule aux gestionnaires de la DGE des renseignements sur la protection de la propriété intellectuelle et les stratégies visant sa commercialisation. Il s'occupe ensuite de préparer des brevets et de négocier la cession de licences.

Le Bureau des relations industrielles aide les gestionnaires de la Division dans d'autres domaines, tels la prévision de recettes et la planification de programmes, en introduisant une perspective fondée jusqu'à un certain point sur les besoins et les priorités des clients. Par exemple, en 1989–1990, le Bureau a préparé l'ébauche d'un plan opérationnel de division qu'il doit soumettre à la haute direction.

En plus de ses ressources chargées de remplir les rôles généraux susmentionnés, le Bureau compte deux éléments spécialisés : le conseiller principal sur les technologies manufacturières de pointe et l'automatisation industrielle, et le gestionnaire du programme sur la sécurité publique du CNRC.

Technologies manufacturières de pointe et automatisation industrielle

J. Scrimgeour

CAN-MATE

L'industrie manufacturière canadienne continue de recevoir beaucoup de conseils sur les technologies manufacturières de pointe et sur leur gestion. Aussi, la publication régulière d'un bulletin d'observation mondiale sur la fabrication informatisée intégrée constitue la principale méthode organisée de diffusion de l'information dans le domaine. Par l'entremise d'un service de dépouillement mondial pouvant consulter plus de 4000 revues, il est possible de choisir chaque mois des documents de référence parmi toute la documentation. Les principales références présentant un intérêt particulier pour l'industrie canadienne sont acheminées au réseau national de diffusion des technologies

manufacturières (CAN-MATE) qui, chaque année, publie les 10 numéros de la revue «*Technology Source*», distribuée à environ 6100 entreprises. Plusieurs de ces documents font référence aux expériences de chefs de file dans la mise au point, l'application et la gestion des technologies manufacturières de pointe présentant une importance stratégique pour l'avenir du pays. Nous encourageons les manufacturiers désireux d'obtenir des exemplaires des publications susmentionnées à le faire par l'intermédiaire de la bibliothèque technique située la plus près de chez eux ou par l'Institut canadien de l'information scientifique et technique (ICIST) qui fait partie du CNRC. Cette collaboration établie entre la Division de génie électrique, CAN-MATE, l'AMC et l'ICIST constitue un bon exemple de système d'information conçu pour aider les manufacturiers canadiens à appliquer des technologies de pointe aux activités de conception et de production dans tous les secteurs de l'industrie manufacturière, afin d'améliorer leurs compétences et leur position concurrentielle sur les marchés national et étrangers.

En 1989, la DGE a également prêté main forte au Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) en vue de la rédaction d'un énoncé de mission pour les Systèmes de production industrielle, qui représentent l'un des 10 domaines technologiques qu'encourage le Programme des subventions stratégiques du CNRC. Industrie, Sciences et Technologie Canada a aussi reçu de l'aide, afin de structurer le cadre d'évaluation de son Programme d'application des technologies de pointe dans le secteur manufacturier.

Comité associé du CNRC sur l'intelligence artificielle

Créé en 1987, le Comité associé du CNRC sur l'intelligence artificielle (CAIA) sert de point central et de forum au Canada quant aux questions, à la planification et aux intérêts nationaux associés à la technologie de l'intelligence artificielle. La Division de génie électrique fournit les services de secrétariat au CAIA du CNRC.

En 1989, le Comité a publié un rapport de fond sur le contexte social de l'intelligence artificielle. Présenté sous forme de document de discussion et de directives, le rapport fait ressortir deux tangentes opposées : il sera certes possible de tirer de nombreux avantages des applications de la technologie de l'intelligence artificielle, cependant, il faudra, en même temps, examiner et comprendre l'aspect social s'y rattachant. Le rapport se concentre sur le processus d'adaptation auquel la société devra se soumettre étant donné l'influence grandissante de l'intelligence artificielle.

En 1989–1990, le Comité a aussi :

- conseillé les responsables de l'élaboration des politiques du gouvernement fédéral sur les programmes de soutien à la recherche et au développement dans le domaine de l'IA;
- continué de publier, en plus de la revue trimestrielle «*Intelligence artificielle Canada*», un bulletin d'observation mondiale sur les développements en IA, à partir de sources publiées;
- envisagé des méthodes visant à encourager une collaboration plus étroite entre les usagers actuels et éventuels de l'IA et les chercheurs en IA des laboratoires universitaires et gouvernementaux.

Activités internationales

Dans le cadre de l'élaboration de normes internationales en matière d'automatisation industrielle, le CNRC a aidé le Comité technique 184 de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) à préparer un glossaire de termes propres à l'automatisation industrielle. La Division de génie mécanique a grandement contribué à cette tâche pour laquelle un convocateur adjoint a été désigné à la DGE, et un autre en France. Les spécialistes ont extrait un sous-ensemble de termes et de définitions, déjà approuvés par l'ISO et figurant en anglais et en français, des 8000 termes et définitions lus dans la banque de données par reconnaissance optique des caractères.

En réponse à l'invitation du comité de technologie manufacturière de la Fédération internationale pour la commande automatique, on a formulé une proposition par laquelle le CNRC agira à titre de commanditaire pour le symposium de l'IFAC sur les problèmes d'information et de contrôle dans la fabrication industrielle (INCOM 1992). Des symposiums similaires ont déjà eu lieu au Japon, en Allemagne, aux États-Unis, en URSS et dans d'autres pays.

Programme sur la sécurité publique

J.G. Arnold

Le Programme sur la sécurité publique est le point central des recherches effectuées au CNRC en matière de systèmes et d'équipement servant à l'exécution des lois. Le CNRC collabore avec l'Association canadienne des chefs de police et la Gendarmerie royale du Canada (GRC) à la conception, à l'essai et à

l'évaluation de nouveau matériel et de nouvelles technologies en matière de sécurité et de services policiers, en plus de travailler avec l'industrie et pour le compte de celle-ci.

Un des objectifs principaux du Programme est de coordonner les recherches en cours et de veiller à ce qu'elles soient élaborées en conformité aux priorités de la collectivité, comme le définit le Comité de recherche opérationnelle de l'Association canadienne des chefs de police.

Plusieurs gestes significatifs ont été posés l'an dernier, afin d'atteindre l'objectif susmentionné. On a fabriqué une remorque nécessaire à l'exécution du projet Pathfinder en vue de faire l'essai du système en conditions opérationnelles. Cet essai est prévu pour l'été 1990, à Sault Ste. Marie. La DGE a entrepris un projet de conception d'un revolver d'aide à la formation au tir; deux prototypes ont été assemblés, afin d'être évalués à la Division Dépôt de la GRC, à Régina, en 1990. De plus, le Programme a servi à mettre au point, en 1989, une chambre de révélation des empreintes sous vide. Cette version améliorée des enceintes de vaporisation au cyanoacrylate (Krazy Glue) sur les empreintes utilisées au cours de la dernière décennie est unique en son genre. La chambre permet de voir des empreintes d'une qualité exceptionnelle, en plus d'être faciles à photographier (figure 1). Dès l'été 1990, la section de l'assistance à l'identification locale procédera à l'évaluation de dix chambres à la grandeur du pays.

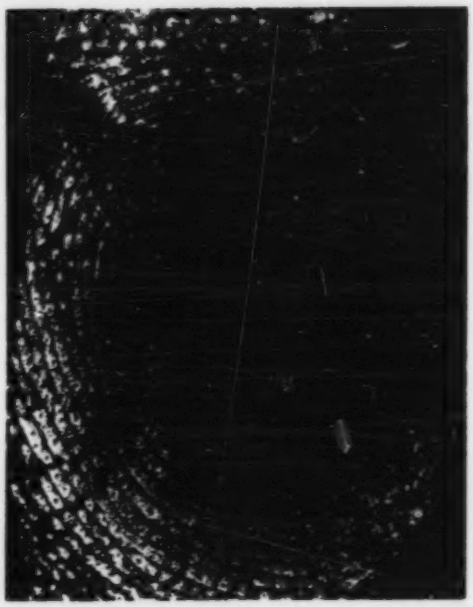


Figure 1. Reproduction d'empreintes digitales effectuée dans la chambre de révélation des empreintes sous vide du CNRC.

Les autorités ont investi beaucoup d'efforts dans le Centre canadien de recherches policières (CCRP), dont l'ouverture a été annoncée l'an dernier. Cette initiative constitue la prochaine étape du Programme canadien de science et de technologie à l'appui du maintien de l'ordre, lequel obtient beaucoup de succès. Le Centre, qui jouera un rôle de chef de file, assurera la coordination nécessaire à la mise sur pied d'un programme de recherche, de développement, d'évaluation et de commercialisation au sein des secteurs de la sécurité publique et de l'équipement servant à la mise en application des lois au Canada. L'ouverture officielle du CCRP est prévue pour le 15 mai 1990, soit pendant la Semaine de la police, et ce, au CNRC.

Mémoires récents

Publiés

Scrimgeour, J. World watch on AI applications and development. Can. Artif. Intell. 22(January): 31–42; 1990.

Scrimgeour, J. Computer integrated manufacturing. CSME Bull. Jan.: 4–11; 1989. CNRC 29732.

Scrimgeour, J. Education and flexible automation — an examination of need and the IFAC role. Proceedings of INCOM '89 — 6th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology IFAC, Madrid, Espagne. 26–29 septembre 1989. Pergamon Press. Sous presse. CNRC 31515.

Scrimgeour, J. Manufacturing perspective. Plant Computerization, 1(1): 28; 1989. CNRC 31516.

Scrimgeour, J. International stability — an information and control systems study of the process. IFAC/SWIIS Worksnop on International Conflict Resolution using Systems Engineering, Budapest, Hongrie. 5–8 juin 1989. Sous presse. CNRC 31335.

Scrimgeour, R. World watch on CAD/CAM technologies. CAD/CAM & Robotics, 7(5): 5–6; 1989. CNRC 30901.

Scrimgeour, J.H.C., et Vernadat, F. Book review: Advances in CAD/CAM and robotics: NRC contributions. Comput. Ind. 12: 161–169; 1989.

Scrimgeour, J., et al. Intelligence artificielle et société — document d'orientation et d'étude. Version abrégée, juin 1989. CNRC 30463. Version anglaise, The Social Context of Artificial Intelligence — A Guideline and Discussion Paper. Abridged Version. CNRC Comité associé de l'intelligence artificielle, juin 1989. CNRC 30188.

Scrimgeour, J., et al. Intelligence artificielle et société — document d'orientation et d'étude, juin 1989. CNRC 30462. Version anglaise, The Social Context of Artificial Intelligence — A Guideline and Discussion Paper. CNRC Comité associé de l'intelligence artificielle, juin 1989. CNRC 30187.

Laboratoire de génie biomédical

Chef — O.Z. Roy

Objectifs

Mandat

- Constituer un centre d'excellence pour la création, la distribution et l'application des connaissances et techniques du génie biomédical au soutien de la qualité de vie et des soins de santé, et collaborer avec l'industrie en vue du développement et de l'application des technologies qui permettront de réduire les coûts des soins de santé prolongés en institution ainsi que la nécessité de ce type de soins.

Objectifs stratégiques

- Améliorer la qualité de vie des handicapés physiques, des déficients développementaux et des personnes âgées par la conception, le développement, l'évaluation et l'application de dispositifs et de technologies axés sur les problèmes associés aux handicaps.

- Déterminer l'effet des rayonnements non ionisants sur le système biologique, de manière à comprendre les processus interactifs et les effets biologiques de ces rayonnements.

- Appliquer ces connaissances à l'élaboration de normes de performance et de sécurité en soins de santé et au développement de nouveaux appareils thérapeutiques et de diagnostic en collaboration avec les autres organismes de recherche et l'industrie du Canada.

Objectifs opérationnels

- Accroître les possibilités de diagnostic et l'efficacité thérapeutique des processus cardiaques en mettant au point des cathéters ultrasoniques capables de distinguer la plaque athéroscléreuse de la paroi d'un vaisseau sanguin viable.

- Accroître la mobilité des personnes atteintes de handicaps graves et des personnes âgées en mettant au point des systèmes de capteurs qui peuvent être utilisés pour améliorer le système de commande des fauteuils roulants électriques.

- Améliorer le processus de guérison des fractures en mettant au point de nouveaux systèmes de stabilisation qui optimiseront la vitesse de guérison par des mécanismes d'immobilisation permettant une meilleure croissance et une meilleure réparation.

- Accroître les interactions entre le Laboratoire et les clients externes par le développement constant des installations de recherche, d'étalonnage et de création de prototypes.

- Mettre au point des produits et offrir des services de préproduction et de consultation en génie de la réadaptation à l'industrie, aux groupes de consommateurs, aux organismes de commercialisation et aux chercheurs en réadaptation, en particulier des produits qui amélioreront la qualité de vie des handicapés physiques, cognitifs et sensoriels.

Description du programme

Le réseau canadien des soins de santé comporte deux grands secteurs : les soins prolongés et les soins de courte durée. Le Laboratoire de génie biomédical, composé de deux sections, l'Unité de technologie de la réadaptation (UTR) située à Toronto et la Section de génie médical (GM) située à Ottawa, oeuvre dans chacun des deux secteurs.

Dans le secteur des soins de courte durée, le programme d'orthopédie du Laboratoire a mis au point et commercialisé au cours des six dernières années un certain nombre de nouveaux implants et instruments connexes. En outre, le Laboratoire met au point des modèles biologiques et des techniques de mesure précis dont l'industrie canadienne et internationale des soins de santé a besoin pour établir des normes de sécurité pour les rayonnements non ionisants et élaborer de nouvelles méthodes diagnostiques et thérapeutiques destinées au réseau des soins de courte durée. Les nouveaux modèles biologiques et les nouvelles techniques de mesure sont utilisés dans des projets de collaboration avec l'Ontario Cancer Clinic, Santé et Bien-Être social Canada, Agriculture Canada et certaines sociétés pharmaceutiques.

Dans le secteur des soins prolongés, les ressources du Laboratoire sont concentrées sur la mise au point de dispositifs qui amélioreront l'autonomie et la qualité de vie des handicapés.

Transfert de technologie

- Au cours des six dernières années, le programme coopératif de R&D en orthopédie du CNRC a mené à la mise au point et à la commercialisation d'un certain nombre de nouveaux implants et instruments connexes. Le programme fait intervenir le Laboratoire de génie biomédical, l'hôpital Civic d'Ottawa, le Laboratoire de recherche ostéoarticulaire de l'Université d'Ottawa, l'Institut biomédical Technion et une nouvelle société canadienne. Les projets ont nécessité une collaboration en divisions, notamment l'Établissement aéronautique national (EAN), la Division de génie mécanique (DGM) et la Division de chimie. Le Bureau de développement industriel du CNRC a participé par l'intermédiaire de son programme PARI en soutenant un groupe de conception en génie biomédical au sein de la société, accroissant ainsi ses possibilités d'élargir la gamme de ses produits.

- Pour mieux améliorer la qualité de vie des handicapés et accroître leur autonomie, le CNRC a créé en 1978 un consortium unique pour la commercialisation de dispositifs techniques. Le consortium est composé du CNRC, par l'intermédiaire de l'Unité de technologie de la réadaptation, de 20 fabricants et, sous les auspices du Conseil canadien pour la réadaptation des handicapés, l'organisme de commercialisation TASH. Des 120 produits actuellement en vente, 80 % ont été mis au point par l'UTR. Les ventes prévues de la TASH pour 1989–1990 seront de 2 M$, dont 60 % à l'exportation. Une des gammes de produits, les interfaces de capacité TASH, permet aux personnes atteintes d'handicaps graves de vivre de manière plus autonome en contrôlant leur environnement, en utilisant des ordinateurs, en conduisant des fauteuils roulants et en sollicitant de l'aide. Quelque 8000 de ces interfaces ont été vendues en 1988, dont 3000 au Canada. Un autre produit qui accroît l'autonomie est le contrôleur de fauteuil roulant spécialisé, commandé par ordinateur. Quatre cents de ces appareils ont été vendus à un fabricant canadien, lui permettant de commercialiser un fauteuil roulant électrique perfectionné.

- Le Laboratoire publie un recueil bisannuel des projets en génie biomédical au Canada. Le recueil fait intervenir la participation de 200 chercheurs de plus de 120 institutions canadiennes. Ce mécanisme constitue un réseau de chercheurs et, en permettant une communication, empêche les dédoublements. En outre, le Laboratoire publie un recueil international des applications de la robotique à la réadaptation ainsi qu'un recueil des projets canadiens de recherche en réadaptation.

Programmes coopératifs

Tous les projets du Laboratoire ont été mené en collaboration avec l'industrie, les fournisseurs de soins de santé, les instituts de réadaptation et les consommateurs. Comme chaque projet est multidisciplinaire de nature, les projets sont élaborés sur une base interactive permanente.

- Une analyse détaillée des besoins d'un institut de soins prolongés pour personnes âgées (Centre Élisabeth Bruyère, Ottawa (Ontario)) a été réalisée. L'étude a révélé que les fauteuils roulants électriques d'aujourd'hui constitueraient un domaine approprié d'application de la technologie de la robotique pour ce qui est d'améliorer la sécurité et la facilité de leur utilisation. La collaboration en matière d'application de la technologie de la robotique aux fauteuils roulants électriques a débuté avec le plus grand fabricant canadien de fauteuils roulants et le Centre de réadaptation Hugh MacMillan (CRHM) (en rapport avec l'Université de Toronto).

- Le Laboratoire est la principale installation canadienne de mesure et d'étalonnage de dispositifs médicaux à ultrasons. Un système de mesure et d'étalonnage des faisceaux d'ultrasons a été établi en 1988 avec l'aide financière de Santé et Bien-Être social Canada, pour fournir des services d'étalonnage aux hôpitaux, à l'industrie et à Santé et Bien-Être social Canada.

- Le Laboratoire, en collaboration avec le Groupe de physiologie moléculaire de la Division des sciences biologiques, a développé des moyens de mesure et des compétences uniques dans le monde en termes des paramètres biologiques mesurés et de la rapidité et de la précision de ces mesures, ce qui a mené à des projets de collaboration avec l'Institut de cardiologie d'Ottawa, Agriculture Canada et des entreprises pharmaceutiques multinationales.

Orientations et priorités futures

- Développer dans un délai de deux ans des moyens de commander une plate-forme mobile et ses capteurs de façon que la plate-forme évitera les collisions avec des obstacles. L'innovation permettra à un utilisateur de partager la commande d'une machine grâce à une interface efficace, élargissant ainsi les possibilités d'application de la

technologie de la motricité autonome dans l'industrie canadienne (soins de santé et autres). Les premiers bénéficiaires seront les utilisateurs de fauteuils roulants dont la conduite sera plus sûre et plus fiable, et l'industrie qui accédera à des marchées plus grands.

- Sur la lancée du Consortium de technologie de la réadaptation, élargir la gamme des produits de la TASH réorientant les efforts du CNRC vers de nouvelles initiatives au Manitoba et en Ontario.

- Démontrer le rôle du CNRC comme catalyseur dans le développement de l'industrie canadienne de l'orthopédie. Notre expérience a montré que le principal facteur dans le maintien par le Canada du contrôle des nouveaux produits est l'accès des chercheurs et des nouvelles industries aux installations de conception, de fabrication et d'essai de prototypes. Les sous-projets dans ce domaine ont traité à la recherche sur les principes fondamentaux de la guérison des os fracturés et sur la mise au point de dispositifs de stabilisation orthopédique. Les dispositifs seront plus fiables et moins traumatisant à l'implantation. Les premiers bénéficiaires de cette recherche seront des Canadiens de plus de 65 ans dont 95 % souffrent d'une forme quelconque de trouble ostéoarticulaire. En augmentant la fiabilité des dispositifs et en comprenant les propriétés des os, il sera possible de diminuer le nombre d'échecs et donc le besoin de réimplantation.

Section de génie médical

Chef — O.Z. Roy

Mise au point d'un véhicule autonome pour des applications en soins de santé

L.W. Korba, P.J. Nelson, N.D. Durie, S. Lang

Il s'agit d'un projet coopératif auquel participent le Laboratoire de génie biomédical et le Laboratoire des systèmes intelligents. Le Laboratoire de génie biomédical est chargé de mettre au point des applications de la technologie de la robotique dans le domaine des soins de santé. Le présent rapport décrit les progrès réalisés dans le domaine.

Spécifications de l'application du véhicule autonome

Une étude des applications possibles de la robotique dans un cadre de soins de santé a été menée au Centre Élisabeth Bruyère (CEB), à Ottawa (Ontario), un établissement de soins prolongés pour les personnes âgées. Le rapport de l'étude traite de mesures environnementales détaillées (dimensions, des chambres, du mobilier et de l'équipement, intensité de la circulation des personnes, matériaux et couleurs des planchers et des murs), de dangers et de problèmes de sécurité potentiels, des occupations quotidiennes du personnel et des bénéficiaires, et des réactions de ces derniers sur les applications les plus urgentes de la technologie de la robotique. Un document résumant les résultats a été préparé.

Quinze applications potentielles ont été identifiées par le groupe d'évaluation composé de bénéficiaires et d'employés. Après examen, 10 applications ont été éliminées ou combinées avec d'autres, réduisant le nombre à la liste ordonnée suivante : (1) capteurs destinés aux fauteuils roulants existants pour prévenir les collisions; (2) transporteur de bénéficiaires; (3) soulève-bénéficiaire; (4) robot-commissionnaire faisant même le ramassage des plateaux de service; (5) promeneur intelligent.

Certains résultats de l'étude présentent un intérêt particulier. Environ 40 % de toutes les occupations des bénéficiaires et des employés sont liés au «transport». La circulation dans les corridors est assez intense à certaines heures de la journée. Elle consiste en piétons (bénéficiaires, employés et visiteurs), ainsi qu'en fauteuils roulants manuels et électriques et en d'autres véhicules — se déplaçant tous à des vitesses très différentes. Un transporteur de bénéficiaires, pour être utile, doit transporter au moins deux bénéficiaires, Pour des raisons de sécurité, un employé devrait monter à bord. Les dimensions d'un tel véhicule approcheraient, voire dépasseraient, les limites environnementales du CEB en matière de congestion de la circulation et de manoeuvrabilité.

Mise au point d'applications

L'étude menée au CEB susmentionnée a indiqué que l'ajout de capteurs sur des fauteuils roulants existants serait une application directe utile de la technologie de la robotique. Par conséquent, un réseau de groupes intéressés a été formé pour étudier les divers aspects de ce problème. Le réseau est composé du Centre de réadaptation Hugh MacMillan (CRHM) de Toronto; l'hôpital pour enfants Bloorview de Toronto; Everest & Jennings Canadian Ltd. (E&J) de Concord en Ontario; le Centre régional de sud-ouest de Blenheim en Ontario; le Centre de réadaptation de la Nouvelle-Écosse de Halifax; et d'autres parties intéressées.

Une enquête auprès des utilisateurs actuels de fauteuils roulants électriques et des utilisateurs potentiels de fauteuils roulants munis de capteurs est menée par le CRHM (dans le cadre d'un contrat du CNRC). Le but de l'enquête est de déterminer les problèmes les plus graves que posent les fauteuils électriques existants ainsi que les améliorations qu'ils y aurait lieu d'apporter, et de définir des priorités dans les deux cas. L'enquête portera sur différentes clientèles, y compris les handicapés physiques, développementaux et sensoriels, et les personnes âgées. Elle visera aussi à déterminer les problèmes que rencontrent les utilisateurs de fauteuils électriques en cours de déplacement. Les réunions visant à élaborer le questionnaire font intervenir de nombreux groupes d'utilisateurs, des professionnels de la réadaptation et divers organismes municipaux, provinciaux et fédéraux. L'enquête et le rapport qui suivra seront terminés d'ici à la fin d'août 1990. Les résultats donneront une orientation générale à la recherche et au développement futurs.

Une exigence fondamentale recherchée dans un fauteuil roulant électrique amélioré est la capacité d'éviter les collisions. À cette fin, un sous-système de détection des obstacles qui peut être fixé au fauteuil est en préparation. Le dispositif, qui repose avant tout sur les ultrasons, comportera un ensemble souple de capteurs intelligents (à auto-évaluation et à auto-diagnostic) qui peuvent être fixé en différents points du fauteuil. Un microcontrôleur

séparé commande chaque capteur et communique avec un contrôleur principal. Ces capteurs confèreront au fauteuil des caractéristiques fondamentales de détection des obstacles. Dans le cadre de sa collaboration, E&J a fourni un de ses fauteuils électriques de modèle récent et cherche à embaucher une personne qui travaillera avec le CNRC à la mise en oeuvre des améliorations du fauteuil roulant.

Mise au point des capteurs de la plate-forme

Une façon de s'assurer que le système de capteurs d'un robot mobile reçoit de l'information exacte sur son environnement consiste à utiliser différents types de capteurs et de combiner l'information provenant de ces capteurs. Pour combiner efficacement l'information provenant de capteurs disparates, il faut bien comprendre les caractéristiques de fonctionnement. Le système sonar de capteurs mis au point pour la plate-forme expérimentale du CNRC a été caractérisé (figure 1). L'ensemble comporte 24 capteurs ultrasoniques polaroïds disposés radialement autour de la plate-forme Cybermation. On a vérifié la réponse de capteurs individuels à une variété de cibles et à huit réglages possibles du système sonar. Cette caractérisation simplifie l'utilisation du système sonar et produit l'information détaillée requises pour combiner les données de ce système avec celles d'autres capteurs.

Orthopédie

R.C. Black, P. de Souza,[1] M.D. Raizenne,[2] H.K. Uhthoff,[3] A. Foux,[4] G.W.D. Armstrong,[5] D. Chow,[5] J. Wilson,[5] S. Gilbert,[5] A. Yeadon,[5] K. Hosseinzadeh,[5] C. Dolan,[5] K. Rasmuzen[5]

Implants spinaux

Le projet de plaque thoracique a franchi l'étape des essais sur cadavre et en laboratoire, étape préparatoire aux essais cliniques contrôlés. Une série d'essais de simulation *in vitro* ont été menés à Dallas, Texas, à l'hôpital Scottish Rite sous la direction du Dr R. Ashman. Le système a été caractérisé en termes de rigidité des composantes et de rigidité de la structure. Les zones de déformation maximale ont été surveillées sous contrainte, faisant la preuve que le matériau est demeuré en deçà de sa limite d'endurance pendant les essais.

[1] Étudiant.
[2] Établissement national d'aéronautique.
[3] Hôpital Général d'Ottawa (Ontario).
[4] Technion — Institut de technologie d'Israël, Haïfa, Israël.
[5] Travailleur invité.

La qualité de la fixation est la clé du succès à long terme des implants spinaux. Des études sur les articulations ont été menées à l'EAN pour examiner les propriétés d'une fixation par vis dans un modèle d'os spongieux. Une étude paramétrique a été réalisée pour caractériser la courbe *S–N* pour une mousse à cellules fermées de densité élevé et une vis pour os spongieux. Le protocole expérimental pour les essais sur les os a été élaboré.

Plaques d'ostéosynthèse

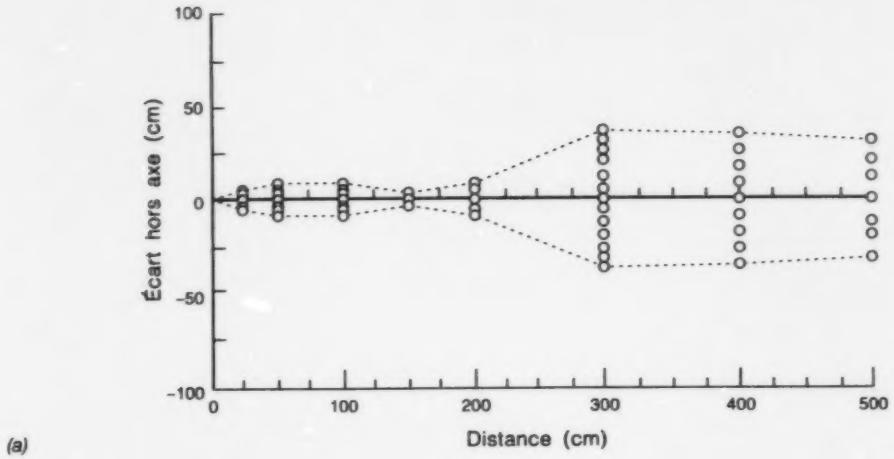
L'étude sur les contacts avec des plaques d'ostéosynthèse est terminée, révélant que les modèles de plaque à contact tant entier qu'avec cannelures n'offrent pas de véritables avantages. Cette expérience portait sur les théories vasculaires de l'ostéoporose induite par des plaques. Une seconde étude visant à évaluer les facteurs mécaniques est maintenant au stade de l'évaluation *in vivo*. Des prototypes des plaques expérimentales ont été réalisés et les composantes mécaniques ont été éprouvées. Il a fallu pousser les recherches techniques pour trouver quelle méthode est la meilleure pour fabriquer les petites composantes conférant son élasticité au système (voir figure 2). Un brevet a été accordé au CNRC pour sa technologie aux États-Unis, ouvrant ainsi des possibilités de commercialisation si les recherches futures supportent l'application clinique. Ces implants présentent une flexibilité axiale contrôlée, permettant de déterminer si la partie de la charge que doit supporter l'os en voie de guérison est optimale. Des vérifications finales sont en cours pour simuler l'ensemble du système (plaque–implant–vis–os) dans le but de décrire la répartition de la charge et de déterminer le comportement du système après l'application répétée d'une charge.

Consortium technique

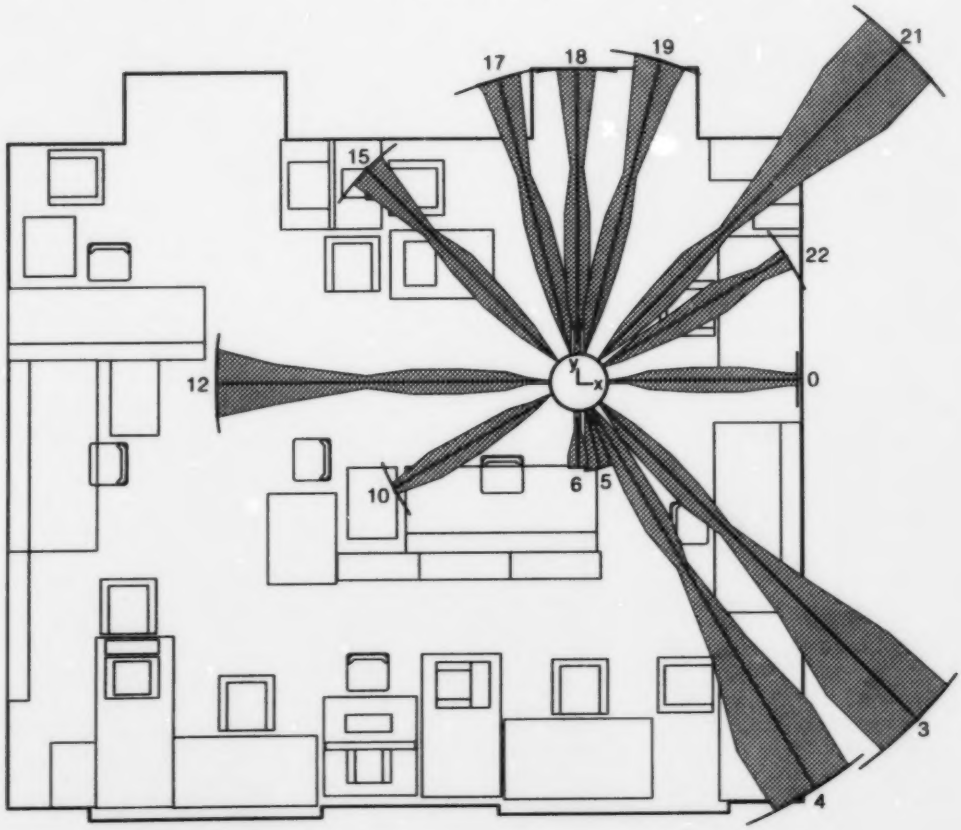
La production interne de prototypes devient de moins en moins possible à cause de la rareté des ressources. En guise de compensation, un consortium composé de Terray Corporation, de l'hôpital Civic d'Ottawa, de l'Hôpital Général d'Ottawa et du CNRC a été créé pour favoriser la production de prototypes d'implants et d'instruments. Ce modèle de collaboration est exploré comme moyen de stimuler la R&D canadienne dans le secteur des dispositifs médicaux.

Installations

Un système d'essais de biomécanique est mis au point en collaboration avec Adelaide Testing Machines Inc., Toronto (Ontario). Cet appareil conviendra particulièrement bien aux

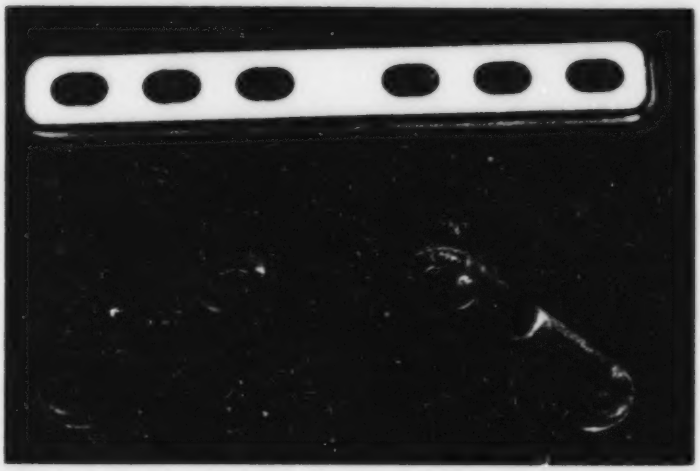


(a)

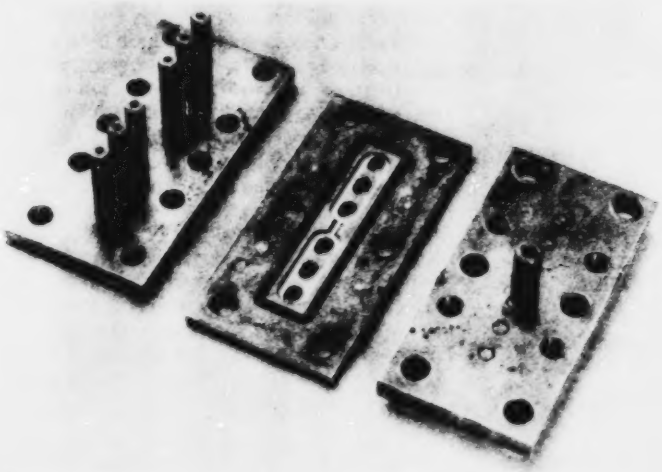


(b)

Figure 1. Ces diagrammes illustrent certains résultats de caractérisation sonar : (a) la sensibilité du système sonar à un type de cible pour un réglage de l'appareil; (b) l'utilisation du modèle des largeurs de faisceau (d'après les données de (a)) pour mieux faire comprendre le champ de vision du sonar lorsque la plate-forme est située en un point donné d'une pièce.



(a)



(b)

Figure 2. (a) Implants de silicone moulés et (b) moule pour fabrication sous vide de prototypes de plaques souples.

applications en laboratoire de nature générale, mais offrira beaucoup d'espace d'accès et des configurations variables de surfaces de travail. Il est à espérer que cette installation constituera une base pour la mise au point d'un produit commercialisable par un fabricant canadien.

Effets des rayonnements non ionisants

A.J. Mortimer, G.M. North

Un nouveau système d'imagerie ultrasonique (figure 3) a été mis au point pour détecter la plaque dans les vaisseaux périphériques. Le système qui comprend quatre ou huit éléments et qui est fabriqué dans notre laboratoire produit de l'information depuis l'intérieur du vaisseau lui-même. Les versions actuelles du système à plusieurs éléments font intervenir un transducteur de 3 mm de diamètre et sont conçues pour être utilisées en conjonction avec des lasers à excimère, YAG ou autres dans le cadre d'un système d'angioplastie au laser. Le nouveau système de guidage utilisera dans l'angioplastie des lasers plus sûrs qui diminueront la possibilité de perforation de la paroi du vaisseau pendant une intervention.

Ultrasons à des fins diagnostiques

Des améliorations continuent d'être apportées aux installations d'étalonnage des ultrasons du Laboratoire en matière d'instrumentation de diagnostic. Un nouveau système d'hydrophone polymérique à plusieurs éléments a été mis au point. Il permet de mesurer les distributions du champ et la puissance de sortie de tous les instruments de diagnostic clinique actuels. L'installation, la seule du genre au Canada, a été améliorée pour offrir des possibilités de mesure qui n'existent pas ailleurs dans le monde.

L'an dernier, des étalonnages ont été réalisés pour des entreprises manufacturières commerciales et des hôpitaux ainsi que dans le cadre d'une enquête préliminaire pour le compte de Santé et Bien-Être social Canada. L'enquête préliminaire révélera les caractéristiques de sortie des systèmes types actuellement en usage dans les cliniques et les hôpitaux à travers le Canada.

Sûreté des ultrasons

À la suite des inquiétudes exprimées par plusieurs radiologistes quant aux niveaux de puissance utilisés en imagerie Doppler, des études théoriques ont été menées sur l'effet de la chaleur sur le cerveau au stade néo-natal. Ces modèles sont maintenant utilisés pour produire des estimations de l'élévation de la température dans le cerveau pendant les diagnostics, permettant au clinicien de rendre plus sûrs les plans d'intervention diagnostique. En collaboration avec Santé et Bien-Être social Canada, on améliore des modèles thermiques pour tenir compte des effets non linéaires.

Dans un effort pour mieux comprendre la cavitation dans les tissus, on poursuit les études sur les mécanismes de cavitation en jeu dans des gels assimilables à des tissus. Des matières organiques dissoutes comme des glucides, des sucres et des protéines sont examinées.

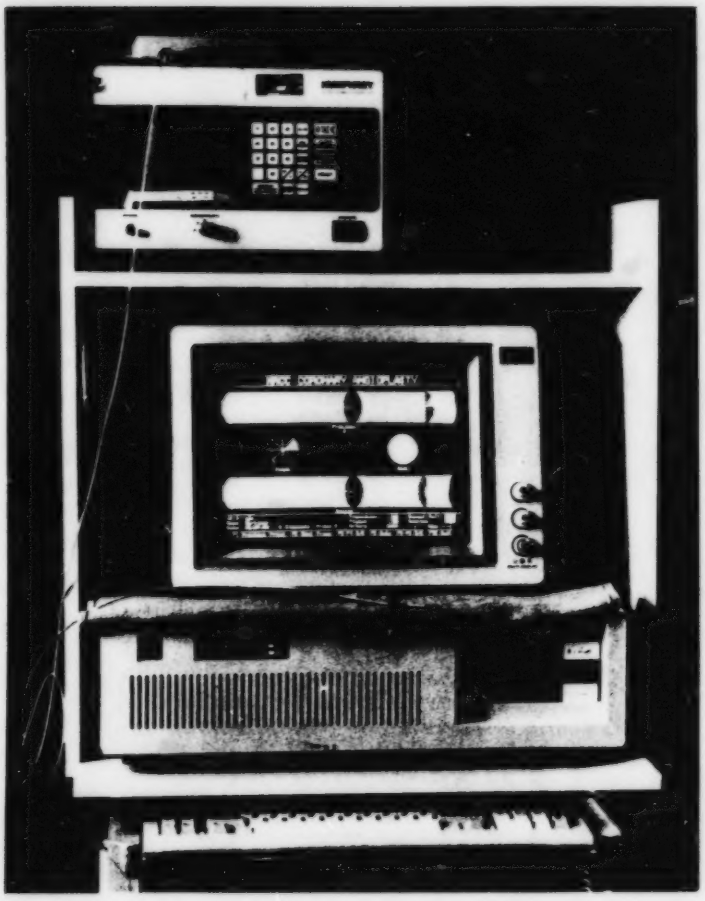


Figure 3. Système ultrasonique intravasculaire à plusieurs éléments.

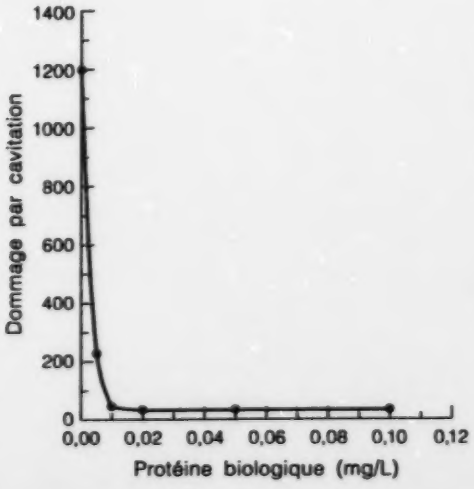


Figure 4. Effet de protéines biologiques sur les dommages que peut causer la cavitation ultrasonique.

Les résultats expérimentaux (figure 4) montrent que, même à de très faibles concentrations de matières organiques, les effets nocifs de la cavitation ultrasonique sont réduits. L'incidence de ces nouveaux résultats sur l'évaluation de la sûreté des ultrasons diagnostiques pulsés continue d'être explorée. Ces données sont importantes dans le processus actuel de normalisation en cours aux États-Unis et en Europe.

Effets biologiques des ultrasons

G.V. Forester

Le Laboratoire de génie biomédical a concentré la recherche sur l'étude des effets des ultrasons de niveau thérapeutique sur le myocarde. Ces études ont révélé que les contractions du myocarde déprimé peuvent être améliorées et normalisées lorsque le myocarde est irradié par des ultrasons de 1 MHz et de 1 W/cm^2 (moyenne spatio-temporelle — SATA). Les données recueillies indiquent que le coeur réagit fortement aux ultrasons lorsque le rapport approvisionnement/demande dans cet organe est modifié en faveur de la demande et que l'application des ultrasons modifie le rapport en faveur de l'approvisionnement. Un examen minutieux des données sur les mécanismes des effets biologiques des ultrasons révèle le rôle facilitateur important des effets thermiques des ultrasons dans l'approvisionnement du myocarde en éléments nutritifs essentiels pendant l'irradiation. Cela se traduit par une disponibilité locale accrue d'oxygène et d'autres nutriments pendant l'application des ultrasons, culminant avec les effets inotropes positifs que nous avons mesurés dans des préparations animales tant isolées qu'*in situ*.

Pour transférer sa technologie au secteur industriel, le Laboratoire de génie biomédical s'est associé avec un partenaire commercial pour étendre la recherche en cours au Laboratoire à une application clinique. En émettant un permis d'exploiter la technologie brevetée, le CNRC et le fabricant poursuivent des projets de recherche qui définiront davantage les applications des ultrasons dans la thérapie des troubles cardiaques.

Mémoires récents

Publiés

Black, R.C., Foux, A., et Uhthoff, H.K. Bone healing evaluation by using the polar flexural rigidity profile. J. Bone Joint Surg. Sous presse. CNRC 30489.

Forester, G.V., Deslauriers, R., Roy, O.Z., Butler, K.W., Saunders, J.K., Scott, J.R., et Paradis, H. Hypothermic preservation of porcine

hearts by cardioplegic perfusion studied with ^{31}P NMR. Proceedings of the Fifth Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering, Université de Patras, Grèce. 29 août – 1er septembre 1989. pp. 78–79. (Long résumé.) CNRC 30815.

Korba, L.W. An analog-to-digital user interface adapter for the microcomputer's game port. Med. Biol. Eng. Comput. 27: 1989. 543–545; 1989. CNRC 30380.

Korba, L.W. (Éditeur). Répertoire international de projets de robotique dans le domaine des soins de santé. CNRC/ERA-379, mars 1989. 62 pages. CNRC 30379.

Lang, S.Y.T., Korba, L.W., et Wong, A.K.C. Characterizing and modelling a sonar ring. Proc. of SPIE, Advances in Intelligent Robotics Systems: Mobile Robots IV, Philadelphia (PA). 5–11 novembre 1989. pp. 291–304. CNRC 30928.

Nelson, P.J., et Stride, B. Why «High Tech» vocational aids are not accepted in the workplace — a discussion with differing perspectives. Proceedings of the 4th Canadian Congress of Rehabilitation, Toronto (Ont.). 20–23 juin 1989. p. 127. CNRC 31295. (Long résumé.)

Nickerson, S.B. Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., et Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston (Ont.). 8–11 août 1989. Sous presse. CNRC 31293.

Nickerson, S.B., Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., et Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Montréal (Qué.). 17–20 septembre 1989. pp. 49–52. CNRC 31292.

Roy, O.Z., et Durie, N.D. (Éditeurs). Inventaire de projets en génie biologique. Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ont.). Décembre 1989. 230 pages. CNRC 31051.

Roy, O.Z., et Podgorski, A.S. Tests on a shocking device — the stun gun. Med. Biol. Eng. Comput. 27: 445–448; 1989. CNRC 30816.

Sauer, F.D., Kramer, J.K.G., Forester, G.V., et Butler, K.W. Palmitic and erucic acid metabolism in isolated perfused hearts from weanling pigs. Biochim. Biophys. Acta. Sous presse. CNRC 30317.

Turpin, B.A.M., Korba, L., Nelson, P.J., et Joly, R. Developing specifications of a robot for health care use; step 1: data collection. Proceedings of the 12th Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, New Orleans (LA). 26–30 juin 1989. pp. 115–116. CNRC 30394.

Turpin, B.A.M., Korba, L., Nelson, P.J., et Joly, R. Exploration of robotic applications in a long-term health care setting. Proceedings of the International Advanced Robotics Programme First Workshop on Domestic Robots and Second Workshop on Medical and Healthcare Robotics, Newcastle-Upon-Tyne (R.-U.). 5–7 septembre 1989. pp. 337–339. CNRC 30653.

Présentés

Conger, S., et Flynn, R. New initiatives for the employment of persons with disabilities. 4th Canadian Congress of Rehabilitation, Toronto (Ont.). 20–23 juin 1989. *Présenté par* O.Z. Roy.

Durie, N.D., Roy, O.Z., et Farley, R. A vehicle for the workplace. 4th Canadian Congress of Rehabilitation, Toronto (Ont.). 20–23 juin 1989.

Korba, L.W., Kwee, H., Hamel, J., et Gilbert, M. Past, present and future of robotics aids. Séminaire, 12th Annual Conference of the Rehabilitation Engineering Society of North America, New Orleans (LA). 26–30 juin 1989.

Roy, O.Z. Image and perception. Technology for Everyone Conference, Chatham (Ont.). 11–12 octobre 1989. (Invité.)

Turpin, B.A.M., Joly, R., Korba, L.W., et Nelson, P.J. The application of robotics technologies for the improvement of patient care. Centre de santé Élisabeth Bruyère, Ottawa (Ont.). 19 juin 1989.

Unité de technologie de la réadaptation

Chef — J. Batelaan

Technologie de la production d'aides pour handicapés

J. Batelaan, W.G. Bennett, I.P. Clark, A.J.W. Liu

Des perfectionnements ont été apportés à l'aide à la communication TALK-O destinée aux handicapés non parlants, décrite dans le *Bulletin* 3(3). Plusieurs aspects mécaniques du logement et du support de la batterie ont été améliorés et un changement dans le logiciel a permis d'accroître la capacité de réponse de l'appareil à des fermetures d'interrupteur. Le logiciel a été entièrement réécrit et il est maintenant accompagné d'une documentation claire qui en facilite l'accès aux autres concepteurs désireux d'améliorer le produit. Près de 100 appareils TALK-O ont été vendus.

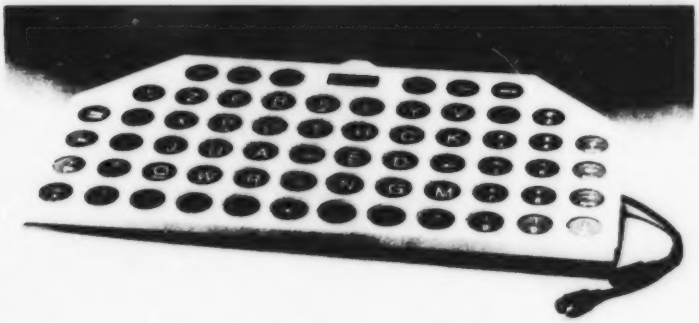


Figure 1. Clavier King d'ordinateur personnel (utilisé à l'aide du pied ou du poing).

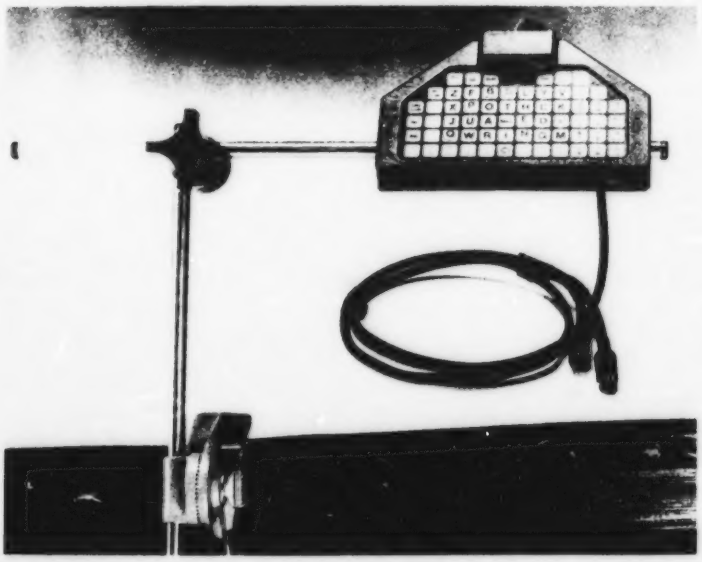


Figure 2. Clavier Mini d'ordinateur personnel (pour les personnes ayant peu de force et une gamme de mouvements limitée).

Plusieurs autres petits appareils ont été mis au point et transférés à un fabricant pour la production et à TASH pour la commercialisation. Ceux-ci comprennent notamment un contrôleur de commutateur à double fonction pour les modules de téléalimentation X-10, des garde-touches pour les claviers des ordinateurs IBM, un commutateur à deux têtes pour la commande des chaises roulantes électriques et deux accessoires de montage de commutateur. La majeure partie des travaux de mise au point a été consacrée aux claviers King des ordinateurs personnels compatibles (figures 1 et 2), au cadran Unidialer 2, une nouvelle version du cadran de téléphone Unidialer mis au point en 1983 (figure 3) et au RELAX. Le RELAX est décrit plus en détail ci-dessous.

RELAX — Transmetteur infrarouge programmable

La maîtrise du milieu, c'est à dire la capacité pour la personne handicapée de commander les dispositifs qui l'entourent (lampes, appareils ménagers, etc.) a toujours constitué une priorité pour l'UTR. On pourrait penser que la formidable augmentation du nombre d'appareils à télécommande infrarouge permettrait aux handicapés d'avoir accès à un grand nombre d'appareils. Malheureusement, dans la plupart des cas, les handicapés ne peuvent utiliser le transmetteur à main. Dans le passé, le personnel de l'UTR a modifié les appareils à main de façon à permettre la commande d'une ou deux fonctions à l'aide d'interrupteurs extérieurs conçus en fonction de certains handicaps particuliers. À mesure que les télécommandes infrarouges sont devenues plus populaires et que le nombre d'appareils sur le marché a augmenté, il est devenu évident que la modification des appareils ne constituait pas une bonne solution.

Le RELAX est un transmetteur infrarouge portable programmable, piloté par microprocesseur, qui a été conçu spécifiquement pour les personnes physiquement handicapées (figure 4). Ce transmetteur peut apprendre et reproduire les signaux infrarouges émis par les transmetteurs originaux fournis avec les appareils. Le RELAX peut être programmé avec 50 commandes qui peuvent représenter les commandes

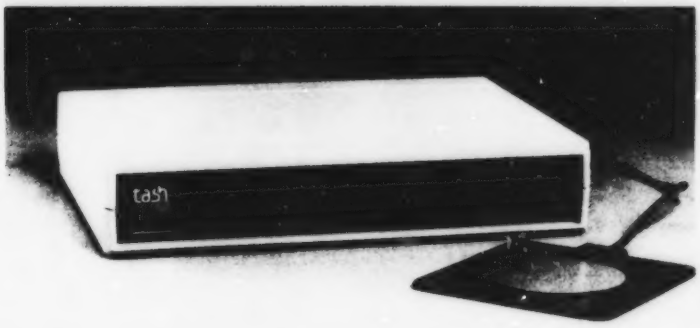


Figure 3. Unidialer 2 — cadran de téléphone à un seul interrupteur.

Figure 4. RELAX — télécommande à une seul interrupteur.

de plusieurs appareils différents. L'utilisateur handicapé accède à ces commandes par un balayage en une seule étape à l'aide d'un interrupteur unique ou bien il y accède directement à partir d'un clavier matriciel 3 x 5.

Le transmetteur RELAX est logé dans une gaine mesurant 195 mm x 100 mm x 30 mm. Avec les batteries, il pèse 440 g. Le panneau antérieur comporte deux groupes de lampes, l'un servant à identifier un appareil et l'autre, une fonction. La lampe REPEAT permet d'accéder rapidement à l'appareil et à la fonction choisis en dernier lieu.

La programmation du RELAX se fait de la façon suivante : on règle l'appareil sur le mode TRAIN, on choisit une position sur le panneau d'affichage représentant la fonction à programmer, on pointe le transmetteur du commerce vers le récepteur RELAX et on appuie sur le bouton approprié du transmetteur du commerce pour obtenir le signal infrarouge. Un signal sonore émis par le RELAX indique que la programmation est réussie, généralement en moins d'une seconde. Il suffit ensuite de régler le RELAX sur le mode USE pour qu'il exécute les fonctions programmées.

Le logiciel et les circuits électroniques du RELAX ont été mis au point dans le cadre d'un contrat, selon les spécifications de l'UTR. Le personnel de l'UTR s'est chargé de la conception et de la fabrication de l'emballage du produit. Les travaux de mise au point ont duré environ deux ans pendant lesquels plusieurs produits commerciaux présentant des capacités de programmation similaires sont apparus sur le marché, mais, là encore, ces produits ne convenaient pas pour les personnes handicapées. En transférant la technologie à un fabricant, l'UTR a acheté 10 transmetteurs afin de procéder à des essais en conditions réelles. Les appareils ont été bien accueillis. Environ 30 transmetteurs ont été vendus au cours des premiers mois de 1990.

Dans le cadre d'un projet secondaire, une version simplifiée du RELAX, le SERIAL RELAX, a été mise au point. Le SERIAL RELAX ne comporte pas d'affichage, mais il est équipé d'une interface de communication sérielle. La mise au point de ce type d'appareil a été entreprise lorsque plusieurs concepteurs de systèmes de maîtrise du milieu pilotés par ordinateur se sont montrés intéressés par le principe du RELAX, sous la réserve que l'utilisateur puisse communiquer avec le transmetteur à partir de l'écran de l'ordinateur. Ces concepteurs évaluent actuellement des prototypes de ce dispositif.

Mémoires récents

Publiés

Batelaan, J. Track wheel — a hybrid vehicle suspension system. Int. J. Veh. Des. IAVD Congress on Vehicle Design and Components, Genève, Swisse. Mars 1989. pp. 333–338. CNRC 31357.

Liu, J.W. The Bethe theory for dissociative excitations and ionization of $H_2^+(1s\sigma_g)$ by electron impact. J. Phys. B, 22: 2605–2621; 1989. CNRC 31418.

Liu, J.W. A test of wave function for $H_2^+ ({}^2\Sigma_g^+)$ via the study of Compton Profiles. J. Phys. B, 22: L139–L144; 1989. CNRC 31419.

Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie

Chef (par intérim) — M.M.C. Collins

Objectifs

Mandat

- Établir, au moyen de recherches appliquées en collaboration avec des compagnies d'électricité et fabricants canadiens et avec d'autres ministères, des normes, des procédures d'essai et des techniques dans les domaines suivants : mesures de précision, compatibilité électromagnétique et diélectriques.

Objectifs stratégiques

- Prévoir les besoins relatifs aux mesures électriques de l'industrie canadienne de l'électricité et y répondre en développant des appareils et techniques de mesure de pointe et en établissant un fonds de connaissances de base reliées à des activités critiques comme l'élaboration de normes nationales et internationales sur les mesures en électricité et sur les essais de vieillissement accéléré de matériel et matériaux électriques.

- Améliorer la compréhension du brouillage électromagnétique (EMI) et de la compatibilité électromagnétique (EMC) afin de développer des appareils de diagnostic et des installations d'étalonnage et d'essai et de contribuer à l'élaboration de normes nationales et internationales dans ces domaines.

Objectifs opérationnels

- Augmenter la capacité des méthodes de mesure de précision en élargissant la bande passante de l'installation d'étalonnage non sinusoïdal, en étendant la gamme de fréquences du pont de mesure de puissance et en ajoutant une fonction de formes d'onde déformées au simulateur de pertes dues à la charge.

- Continuer les études, avec la participation des fournisseurs de matériaux, des fabricants de matériel et des compagnies d'électricité, des mécanismes de claquage à long terme des diélectriques et développer des isolants améliorés à base de polymères.

- Donner avis, aux termes de l'engagement envers le ministère de la Défense nationale (MDN), quant aux procédures d'immunisation contre le brouillage électromagnétique pour le nouveau projet d'aéronef embarqué.

- Achever le générateur d'impulsions destiné au simulateur d'impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire (NEMP) à ondes limitées du Centre de recherches pour la défense/Ottawa (CRDO).

Description du programme

Au sein du Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie, trois groupes assurent l'exécution du programme de la Division.

L'objectif du groupe des mesures de précision est de prévoir les besoins relatifs aux mesures électriques de l'industrie canadienne et d'y répondre en développant de nouveaux appareils et techniques de mesure améliorés. Les domaines à l'étude sont les mesures de puissance (y compris les formes d'onde déformées), les techniques de transfert de tensions dans le but d'améliorer la précision des mesures de tension c.a. par rapport à un étalon c.c. et l'étalonnage de divers types d'appareils tels que transformateurs de mesure et compteurs d'électricité. Un service majeur est l'étalonnage sur place d'appareils de mesure des pertes utilisés par les fabricants de grands transformateurs d'alimentation et de bobines inductives au moyen d'un simulateur précis de pertes dues à la charge et à facteur de puissance réduit, appareil mis au point par le groupe. Comme activité nouvelle, on compte la mesure des champs électromagnétiques environnementaux adaptée au foyer, au bureau et à l'extérieur.

L'objectif du groupe des diélectriques est de déterminer les mécanismes de la détérioration à long terme d'isolants électriques soumis à de fortes contraintes électriques et de développer, à partir de ces études de base, des essais normalisés de vieillissement accéléré qui soient utilisables pour l'industrie. Le vieillissement accéléré doit être représentatif du vieillissement en service et ne doit pas introduire des mécanismes de vieillissement qui ne se produisent pas normalement en service. Les études se

sont concentrées sur le vieillissement de polymères utilisés dans des câbles HT. Elles ont montré que les mécanismes de vieillissement diffèrent selon que les câbles sont utilisés en milieu sec ou en milieu humide.

L'objectif du groupe du brouillage et de la compatibilité électromagnétiques est de faire avancer l'état actuel de la technique des domaines en cause tout en mettant l'accent sur la modélisation et les mesures d'impulsions utiles à l'industrie canadienne, à la sécurité publique et à la défense nationale. Ce groupe contribue aux normes nationales et internationales relatives aux EMI et à la EMC et a établi des installations d'essai et d'étalonnage appropriées. Les activités principales du groupe portent sur les domaines suivants : mesures du EMI, production du EMI, modélisation numérique, étalonnage des circuits de mesure et immunisation des circuits électroniques contre le brouillage électromagnétique.

Transfert de technologie

- Le simulateur de pertes dues à la charge est de plus en plus utilisé dans l'industrie. Parmi les récents étalonnages de circuits de mesure d'essai industriels, on compte ceux de ABB Electric (Muncie, Indiana, et London, en Ontario).

- Un programme de recherches a été lancé pour le compte de l'Association canadienne de l'électricité ayant pour but de développer des étalons de grande précision pour les mesures de puissance active et de puissance apparente.

- Des brevets ont été octroyés pour un pont de capacités haute tension commandé par microprocesseur, un amplificateur de transconductance et un additif pour retarder le vieillissement électrique des polymères. Le transfert de ces technologies à l'industrie se poursuit.

Programmes coopératifs

- Les travaux relatifs au EMI et à la EMC sont effectués en collaboration avec le MDN. Deux membres du personnel du CNRC ont été détachés pour travailler au CRDO. En outre, des contacts ont été établis avec des représentants de l'industrie canadienne et d'autres ministères, par exemple la compagnie Marconi Canada, JSI Telecom, Transports Canada et la Gendarmerie royale du Canada, quant à l'analyse et à l'essai des impulsions électromagnétiques.

- Le groupe des diélectriques exécute plusieurs programmes coopératifs conjointement avec des compagnies d'électricité canadiennes et avec l'industrie canadienne en général. Ces programmes visent la compréhension du processus de vieillissement, le développement de méthodes d'essai permettant d'accélérer le vieillissement et la recherche de matériaux isolants qui retarderont ce processus.

Orientations et priorités futures

Comme dans le passé, les divers groupes du Laboratoire entendent miser sur leurs nombreux contacts avec les représentants de l'industrie de l'électricité, tant sur une base individuelle que sur la base d'une participation active à des comités techniques, en vue de s'enquérir de leurs préoccupations et de pronostiquer leurs besoins futurs.

- Le groupe des mesures de précision continuera à mettre l'accent sur le développement d'instruments améliorés qui permettront des mesures électriques dans un circuit exposé à des charges non linéaires. Les efforts visant l'automatisation des méthodes de mesure se poursuivront également, en vue de répondre à une demande accrue de l'industrie en matière d'étalonnage et de satisfaire aux exigences de mesure plus rigoureuses.

- Les essais de vieillissement accéléré et de diagnostic menés sur les matériaux isolants se poursuivront, en collaboration avec les compagnies d'électricité et fabricants canadiens. Avec l'appui de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) et d'Ontario Hydro, les études de base sur le mécanisme du vieillissement progressent. De plus, le CNRC aide un fournisseur de matériaux canadien à développer des isolants pour des applications à haute tension.

- Actuellement, le MDN demeure le principal client du Laboratoire en ce qui a trait aux travaux effectués sur le EMI et la EMC; le transfert au MDN de la technologie d'immunisation contre les impulsions électromagnétiques s'étendra sur une période supplémentaire d'au moins deux ans.

Section d'énergie

Chef — W.J.M. Moore

Mesures de précision en électricité

E. So, W.J.M. Moore, R. Arseneau, P.S. Filipski, T.R. McComb, P. Miljanic,[1] Y. Sakumoto,[2] D. Kovacevic[2]

Comptage de l'électricité

La version commerciale du comparateur de courant commandé par ordinateur, fabriqué par Measurements International Limited (Prescott (Ontario)) a été incorporée dans le pont de mesure de puissance. Les travaux en vue d'augmenter les gammes de tension, de courant et de fréquences du pont se poursuivent.

Le groupe utilise le nouveau générateur étalon de tension c.a. commandé par ordinateur pour tensions, puissances et courants sinusoïdaux et déformés, dans l'étalonnage des wattmètres (puissance active), des varheuremètres (puissance réactive) et des wattheuremètres. On a réalisé les modules d'extension des plages de courant et de tension et on a vérifié leur précision. Le générateur étalon c.a. est maintenant capable d'étalonner des appareils de mesure de tension, de courant et de puissance active et réactive jusqu'à 600 V et jusqu'à 100 A. L'erreur théorique d'étalonnage aux fréquences industrielles est inférieure à 20 ppm. Les travaux pour augmenter la gamme de fréquences se poursuivent.

Le groupe a développé un convertisseur de puissance étalon à répartition dans le temps. Son erreur résiduelle, après corrections, est inférieure à 100 ppm jusqu'à 5 kHz, et à 0,25 % jusqu'à 20 kHz. Measurements International Limited est en train d'acquérir les droits de fabrication du convertisseur. Les travaux pour étendre l'application du convertisseur à un étalon transportable de puissance active, d'énergie et de puissance apparente et à un varheuremètre.

Une comparaison internationale d'étalonnages d'un wattmètre audiofréquences/basse fréquence a été menée entre juin 1989 et janvier 1990. Le convertisseur de puissance étalon à répartition dans le temps du CNRC a été étalonné à quatre laboratoires nationaux — le National Physical Laboratory de Teddington (Royaume-Uni), le National Institute of Standards and Technology de Gaithersburg (États-Unis), l'Institut Mihailo Pupin de Belgrade (Yougoslavie) et le Physikalisch-Technische Bundesanstalt de Braunschweig (Allemagne). Les résultats de cette comparaison seront présentés à la Conférence sur les mesures de précision électromagnétiques, CPEM-90.

L'Association canadienne de l'électricité vient de lancer le programme 252-D-722, «Étalons transportables du CNRC pour les mesures de puissance active (kW) et de puissance apparente (kVA)». L'objectif de ce programme est de développer des étalons transportables de grande précision pour les mesures de puissance active, d'énergie et de puissance apparente. En temps utile, ces étalons seront utilisés pour un nouveau service d'étalonnage, que le CNRC offrira aux compagnies d'électricité et fabricants canadiens.

Transformateur de courant à circuit électronique

Plusieurs transformateurs de courant à circuit électronique ont été construits et leurs performances ont été vérifiées. Une étude est en cours pour évaluer l'applicabilité du noyau, amélioré au moyen du circuit électronique à la construction des transformateurs de tension. On est en train d'incorporer une nouvelle méthode pour permettre la détection de toute composante c.c. du courant primaire.

Étalon de pertes dues à la charge, à comparateur de courant

Le groupe poursuit les travaux pour augmenter les capacités de l'étalon de pertes dues à la charge afin de pouvoir étalonner divers types de circuits de mesure de pertes haute tension.

Générateur étalon de tension c.c. à comparateur de courant commandé par microprocesseur

Le groupe est en train d'évaluer les performances de la version commerciale du générateur étalon (fabriqué par Measurements International Limited) (figure 1).

Comparateur de tension alternative efficace/tension continue

Le groupe a développé un nouveau comparateur de tension alternative efficace/tension continue basé sur un thermocouple différentiel. Le nouvel instrument est un zéromètre avec une gamme de ±1000 ppm, conçu pour mesurer les tensions d'essai typiques utilisées dans les étalonnages c.a. de grande précision. Des essais ont montré que la précision du

[1] Agent de recherche visiteur.
[2] Travailleur invité.

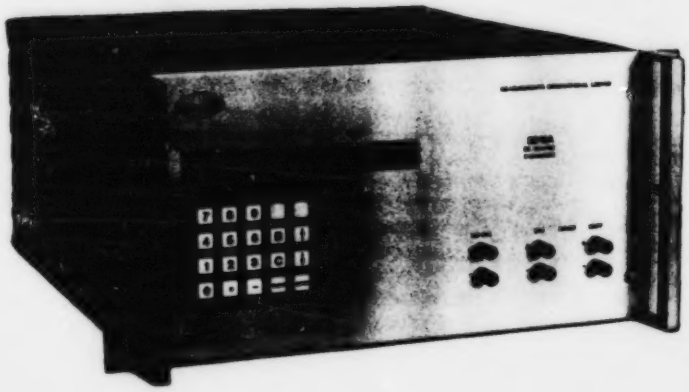


Figure 1. Version commerciale du générateur étalon de tension c.c. à comparateur de courant commandé par microprocesseur.

comparateur est supérieure à ±50 ppm pour des fréquences de 50 Hz à 200 kHz. L'instrument a été essayé à des fréquences jusqu'à 1 MHz où des erreurs de moins de 0,3 % ont été obtenues.

Mesures des champs électromagnétiques aux fréquences industrielles

Le Conseil national de recherches Canada participe avec plusieurs compagnies d'électricité à un programme commandité par l'Association canadienne de l'électricité (programme ACE 272-T-677) pour mesurer les champs électriques et magnétiques ambiants au Canada. Les contributions du CNRC au programme comprendront des mesures de champs électriques et magnétiques à environ 30 emplacements dans la région d'Ottawa. Des installations d'étalonnage seront aussi disponibles pour les appareils de mesure de champs électriques et magnétiques utilisés par les participants au programme.

Qualité de l'alimentation

Une vérification de la qualité de l'alimentation a été effectuée pour une grande compagnie canadienne de ressources naturelles.

Le groupe de mesures de précision a été invité à participer au réseau d'essais de la qualité de l'alimentation, organisé par le centre d'application de l'électronique de puissance du Electric Power Research Institute (EPRI) de Palo Alto (Californie).

Mesures de choc à haute tension

Une nouvelle initiative de cette année est un projet conjoint avec le National Institute of Standards and Technology (NIST) de Gaithersburg (Maryland). T.R. McComb a été détaché pour un an au NIST, aux frais de ce dernier.

[1] Travailleur invité.

À titre de chercheur en détachement, il continuera ses recherches sur les circuits de mesure de choc à haute tension et l'élaboration de normes de transfert à l'intention de l'industrie de l'électricité en Amérique du Nord. Il travaillera pour la division des électrosystèmes du NIST en collaboration avec les chercheurs du groupe de mesures électriques appliquées. Son travail consiste à produire des systèmes qui satisfont aux exigences du projet de norme internationale de la Commission électrotechnique internationale (CEI) qui sera mis aux voix en 1990.

Normes

Le Conseil des normes du Canada a continué d'appuyer T.R. McComb comme secrétaire international du comité technique 42 de la CEI, Techniques d'essai à haute tension. Cette année, ce comité a approuvé deux documents pour être mis aux voix par les comités nationaux : la révision des publications 60-3 et 60-4 de la CEI (42 [secrétariat] 62) et une nouvelle norme sur les «enregistreurs numériques pour les mesures des essais de choc à haute tension, Partie 1 — exigences relatives aux enregistreurs numériques.» Le CNRC a apporté des contributions techniques importantes à ces deux documents. La CEI a maintenant imprimé la publication CEI 60-1 : *Techniques d'essai à haute tension (1989), Partie 1 : Définitions générales et exigences d'essai*. Le comité technique 42 a constitué un nouveau groupe de travail pour élaborer une norme sur les essais à haute tension avec transitoires très rapides.

CIGRE — Groupe de travail 33.03

Les contributions aux techniques numériques et aux mesures comparatives se poursuivent. Les résultats ont été présentés au sixième symposium international sur les techniques à haute tension tenu en septembre 1989 et à la conférence de l'IEEE sur l'énergie électrique qui a eu lieu en février 1990.

Isolants électriques

R.J. Densley, A.T. Bulinski, S.S. Bamji, H. Muto[1]

Les travaux pour déterminer les mécanismes du vieillissement de polymères soumis à de hauts gradients électriques se poursuivent. Les connaissances obtenues de ces études sont utilisées pour développer des essais de vieillissement accéléré, pour comparer les performances des matériaux et pour prédire la durée de vie des câbles en service.

L'effort principal se concentre toujours sur les effets synergiques des gradients électriques et de l'humidité sur les polymères tels que le polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) utilisés pour l'isolation des câbles de distribution haute tension et câbles souterrains. Les travaux sont financièrement appuyés par AT Plastics Inc., Union Carbide Canada Ltd., Exxon Chemicals Co., l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) et Ontario Hydro ainsi que par l'Electric Power Research Institute (EPRI).

Un programme conjoint avec l'IREQ pour déterminer le rôle de l'oxydation dans les arborescences aqueuses est sur le point de se terminer. Ce programme avait pour objectif de déterminer si l'oxydation thermique de l'isolant influence la formation et la croissance d'arborescences aqueuses et si les arborescences aqueuses elles-mêmes causent l'oxydation de l'isolant. On a soumis des rubans de polyéthylène réticulé d'un câble neuf au vieillissement thermique à l'air pour obtenir trois niveaux d'oxydation typiques de ceux mesurés dans des câbles retirés du service. Par la suite, on a soumis ces rubans aux essais de croissance accélérée d'arborescences aqueuses dans une solution de NaCl à deux contraintes électriques et à deux fréquences différentes. Tous les essais ont été effectués à la température ambiante. Après le vieillissement électrique pendant des délais préréglés, on a déterminé le nombre et les longueurs des arborescences, et mesuré le niveau d'amorçage à 60 Hz. Dans les conditions de vieillissement accéléré à haute fréquence et(ou) à de fortes contraintes utilisées lors de ces essais, la densité et les longueurs des arborescences augmentaient avec le délai de vieillissement, comme on pouvait s'y attendre, mais ne variaient pas de façon notable avec l'oxydation. Les niveau d'amorçage après le vieillissement électrique étaient aussi indépendantes du niveau d'oxydation mais diminuaient avec des délais de vieillissement prolongés, c'est-à-dire à mesure que les longueurs des arborescences augmentaient. Donc, les niveaux d'oxydation notés dans les câbles isolés au PRC et vieillis en service n'ont pas d'effet sur le taux de formation ni sur le taux de croissance des arborescences aqueuses.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été utilisée pour comparer les niveaux d'oxydation d'arborescences aqueuses individuelles avec ceux de l'isolant PRC en bon état. On a examiné tant des arborescences cultivées en laboratoire dans des conditions de vieillissement accéléré que des arborescences prélevées sur des câbles vieillis en service. L'étude a attiré l'attention sur la distinction qu'il faut faire pendant de telles mesures entre les crêtes d'absorption des antioxydants ajoutés à l'isolant et à celles de l'oxydation du polymère. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas d'oxydation excessive dans la majorité des arborescences examinées. Toutefois, un petit nombre (<10 %) présentait une légère oxydation supérieure (~10 %) à celle du PRC en bon état. Toutes les arborescences présentaient une susceptibilité accrue à l'oxydation quand elles étaient soumises à des températures élevées. Les temps de production d'oxydation des arborescences étaient de 30 à 50 % inférieurs à ceux de l'isolant correspondant sans arborescences.

Un chercheur en détachement de Furukawa Electric, du Japon, a examiné le vieillissement thermique et électrique simultané l'isolant PRC sans antioxydant, soumis à une solution saline. Les arborescences cultivées sous des contraintes thermiques et électriques combinées présentaient des degrés d'oxydation plus élevés que ceux des arborescences cultivées à la température ambiante.

Les résultats des études d'oxydation montrent qu'un ou plusieurs des phénomènes suivants pourraient se produire : les impuretés introduites dans les arborescences par le champ électrique peuvent servir de catalyseurs à l'oxydation à température élevée; les impuretés neutralisent l'effet de l'antioxydant, ce qui entraîne une oxydation accrue à l'intérieur de l'arborescence; ou l'antioxydant n'est pas efficace en présence d'eau et n'empêche pas l'oxydation à température élevée.

Un programme conjoint avec l'IREQ pour déterminer les mécanismes par lesquels une arborescence aqueuse provoque le claquage électrique se poursuit. Jusqu'ici, les résultats ont confirmé que, à mesure que l'arborescence aqueuse fait le pont en travers de l'isolant, une arborescence électrique s'amorce à partir de la surface opposée et traverse l'arborescence aqueuse pour causer le claquage. Les conditions à la liaison nécessaires pour que l'arborescence aqueuse se transforme en arborescence électrique restent à déterminer. Dans le cadre de ce programme, on a soumis un isolant contenant des arborescences aqueuses aux essais de niveau d'amorçage pour déterminer sa sensibilité au courant alternatif, au courant continu, à une tension de choc et à une tension de choc superposée au courant alternatif. Les essais de tension de choc et de courant alternatif se sont avérés les plus utiles et les plus pratiques pour évaluer le

taux de formation d'arborescences aqueuses dans l'isolant PRC.

Un projet de deux ans mené avec Ontario Hydro a commencé à déterminer le rôle des contraintes mécaniques dans la détérioration due aux arborescences aqueuses. Ces travaux sont financés par le EPRI. On étudiera les effets des contraintes mécaniques résiduelles dans le polymère après la formation et la croissance d'arborescences aqueuses ainsi que les contraintes produites à l'intérieur d'une arborescence aqueuse. Une tentative sera faite pour produire mécaniquement des arborescences aqueuses. Si les résultats montrent que les forces mécaniques sont importantes, on pourra inclure dans les essais de vieillissement accéléré la contrainte mécanique comme paramètre d'essai et développer des matériaux plus durs qui résisteront aux arborescences aqueuses.

Une revue de l'état actuel de la technique du vieillissement multi-contrainte des câbles de la classe des lignes de transport s'achève. Cette revue indiquera quelles recherches sont nécessaires pour comprendre le vieillissement de l'isolant extrudé de ces câbles. Ces travaux sont importants pour les compagnies d'électricité en Amérique du Nord puisqu'on prévoit une expansion considérable des réseaux de transport souterrain pour répondre à la demande d'énergie pendant le siècle prochain. Le vieillissement matériel, des changements morphologiques et le comportement thermomécanique de l'isolant semblent avoir les effets les plus importants sur la durée de vie de ce dernier.

Le groupe a achevé le deuxième volet des essais à tour de rôle sur la formation d'arborescences électriques et aqueuses pour le compte du SC 15 du CIGRE. Les données de ces essais seront utilisées pour développer des procédures d'essai normalisées internationales.

Jusqu'à présent, les études de la formation d'arborescences électriques dans les polymères en milieu sec étaient limitées aux électrodes métalliques en contact avec le polymère. Dans les systèmes d'isolation pratiques, toutefois, le polymère entre en contact avec des polymères chargés de carbone (électrodes semiconductrices). Conjointement avec la compagnie Furukawa Electric, le Groupe étudie les phénomènes de formation d'arborescences électriques tout en utilisant des électrodes semiconductrices. Pour détecter ces phénomènes, on utilise une technique de photodétection qui mesure l'électroluminescence (représentée à la figure 2).

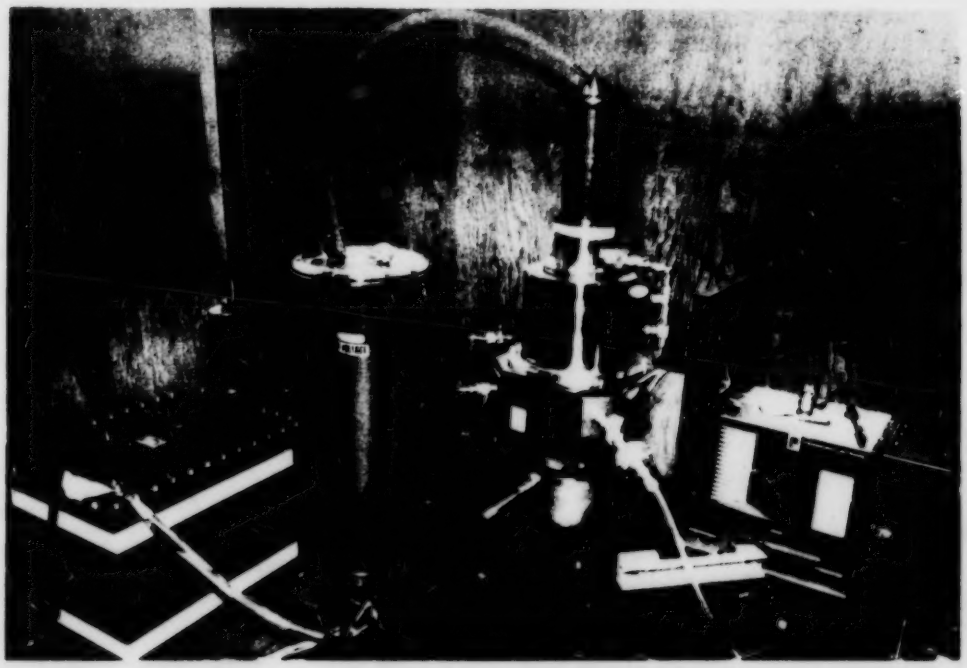


Figure 2. Cellule d'essai et système de photodétection pour mesurer l'électroluminescence des polymères

Brouillage et compatibilité électromagnétiques

A.S. Podgorski, M.M. Kekez, J. LoVetri, M.S. Wartak[1]

Mesures des impulsions électromagnétiques

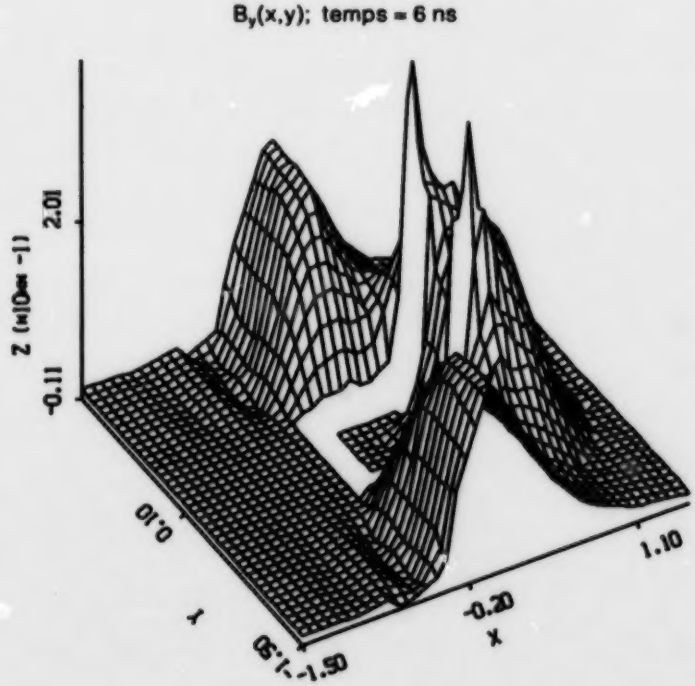
Les travaux entrepris sur le développement d'un circuit de mesure d'impulsions très rapides se poursuivent. Au cours de la dernière année, on a réduit à 50 ps le temps de réponse des circuits de mesure coaxiaux. On s'attend à ce que, pendant l'année prochaine, le temps de réponse sera réduit à 25 ps.

Les travaux entrepris en collaboration avec R&D Optics d'Ottawa (Ontario) pour le développement de systèmes de mesure à fibres optiques se poursuivent également.

Simulateur d'impulsions électromagnétiques

L'objectif global de ce projet est de développer une installation d'essai de brouillage/compatibilité électromagnétique et d'impulsions électromagnétiques mixtes. L'industrie canadienne et d'autres ministères fédéraux peuvent utiliser ce type d'installation pour vérifier la protection électromagnétique tout en mettant l'accent sur la protection contre les transitoires et les impulsions. Un nouveau générateur coaxial Marx HT avec un temps de montée de moins de 1 ns a été construit et mis à l'essai.

Figure 3. Champ magnétique pénétrant dans un blindage.



Immunisation contre les impulsions électromagnétiques

L'objectif de ce projet est d'aider l'industrie et d'autres ministères à développer une base théorique permettant de concevoir des systèmes de protection contre le brouillage électromagnétique.

Des méthodes numériques d'analyse des anomalies de nature électromagnétique telles que les impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire ou de foudre sont en voie de développement (voir la figure 3). Un système expert a été développé aux fins de l'immunisation des équipements électroniques contre divers dangers de nature électromagnétique.

L'utilisation de la procédure d'immunisation qui tient compte du danger combiné — impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire, de foudre et hertziennes — devient de plus en plus courante. La compagnie Marconi Canada, le ministère des Transports, JSI Telecom et la GRC ont demandé l'immunisation de leurs systèmes et installations de communication contre le danger combiné.

Le groupe EMI/EMC a mené de nombreux projets coopératifs avec l'industrie canadienne et les ministères fédéraux. Tous ces projets avaient pour objectif la mise en oeuvre de moyens de protection économiques de systèmes électroniques contre les dangers de nature électromagnétique naturel et d'origine humaine.

Modélisation de l'interaction électromagnétique

Le développement de nouveaux codes et algorithmes bidimensionnels et tridimensionnels est en cours. Ces codes seront utilisés pour l'étude d'anomalies non linéaires telles que les décharges et la propagation en milieux non linéaires.

Analyse et mesure des interactions d'impulsions électromagnétiques (recherches au CRDO)

S.C. Kashyap, J. Seregelyi

Des lignes directrices ont été établies pour l'utilisation de codes dans le domaine fréquence

[1] Travailleur invité.

tels que ceux du NEC pour obtenir la réponse dans le domaine temps des impulsions électromagnétiques par l'utilisation de techniques faisant appel à l'inverse de la transformée de Fourier. Il a été démontré que le choix judicieux de la gamme et de l'intervalle des fréquences et l'utilisation de techniques d'interpolation peuvent produire des résultats précis avec une économie considérable de temps machine. Deux codes ont été élaborés pour l'analyse selon la méthode des moments de simulateurs d'impulsions électromagnétiques à plaques parallèles. Ces simulateurs peuvent être construits à partir de deux jeux de fils ou plaques parallèles et peuvent être à section arbitraire.

Afin de permettre des mesures d'impulsions électromagnétiques au niveau du système, un simulateur de 10 m a été conçu. Ce simulateur a une longueur hors tout de 90 m et une capacité de 10 m (hauteur) × 20 m (largeur) × 30 m (longueur). Il est assez grand pour recevoir un hélicoptère ou un char d'assaut.

Le groupe a amorcé le développement de techniques utilisées pour l'immunisation contre les impulsions électromagnétiques. Les travaux à ce jour comprennent la collecte de données sur les dispositifs de protection contre les transitoires (DPT) et des expériences initiales pour étudier les caractéristiques de fonctionnement des DPT. La conception d'une installation de banc d'essai pour l'évaluation des DPT est en cours.

Mémoires récents

Publiés

Arseneau, R., et Zelle, J. A tri-axis electromagnetic field meter. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-39(1): 23–27; 1990. CNRC 30900. (*Résumé dans* Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC 89, Washington (DC). 25–27 avril 1989. p. 283. CNRC 31666. (Long résumé)).

Arseneau, R., et Zelle, J. An accurate RMS-DC voltage comparator. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC '90, San José (CA). 13–15 1990. p. 19. CNRC 31667.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, R.J. The effect of gas-impregnation on the aging mechanism of polymeric insulation. Proceedings of the Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans (LA). 28 – 1 1989. Mémoire nº. 21-01, 3 pp. CNRC 30822.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., Densley, R.J., Crine, J.-P., Noirhomme, B., et Bernstein, B.S. Influence of oxidation on water tree initiation and growth in XLPE cables. Proceedings of the 3rd International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, Trondheim, Norvège. 3–6 juillet 1989. pp. 422–427. CNRC 30821.

Bulinski, A.T., Bamji, S.S., Densley, R.J., Crine, J.-P., Noirhomme, B., et Bernstein, B.S. Water treeing in a heavily oxidized cross-linked polyethylene insulation. Proceedings of the Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans (LA). 28 août – 1er septembre 1989. Mémoire nº. 13-06, 4 pp. CNRC 30823.

Das-Gupta, D.K., et Densley, J. Polarization phenomena in cross-linked polyethylene (XLPE) containing water-trees. 1989 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Leesburg (VA). 29 octobre – 1er novembre 1989. pp. 224–229. CNRC 31102.

Densley, J., Bulinski, A.T., et Bamji, S.S. Water treeing studies in cable insulation. Proceedings of the 22nd Symposium on Electrical Insulating Materials, Tokyo, Japon. 12–13 octobre 1989. pp. 1–11. CNRC 30861.

Dion, M., et Kashyap, S. Some considerations on the use of NEC for computing EMP response. Appl. Comput. Electromagn. Soc. 4(2): 73–89; 1989. CNRC 31138.

Filipski, P.S. Comments on «Measurement and compensation of fictitious power under nonsinusoidal voltage and current conditions» par J.H.R. Enslin et J.D. Van Wyk. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(3): 837; 1989. CNRC 31497.

Filipski, P.S. Discussion on «Basic mechanisms of generation and flow of harmonic signals in balanced and unbalanced three-phase power systems» par K. Olejniczak et G.T. Heydt. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-4(4): 2162; 1989. CNRC 31668.

Filipski, P.S. A TDM wattmeter with 0.5 MHz carrier frequency. IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-39(1): 15–18; 1990. CNRC 30930.

Filipski, P.S., et Arseneau, R. Calibration of three-phase revenue meters under distorted waveform conditions. Proceedings of the IEE Sixth International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, Manchester (R.-U.). 3–5 avril 1990. pp. 236–240. CNRC 31435.

Gravelle, L.B., Ney, M.M., Berthiaume, M., Kashyap, S., et Costache, G.I. Solutions of electromagnetic shielding problems by finite element and TLM methods. Proceedings of ICEAA International Symposium, Torino, Italie. Septembre 1989. pp. 127–130. CNRC 31142.

Kashyap, S., Dion, M., et Seregelyi, T.S. Computation and measurement of EMP response of antennas. Proceedings of IEEE AP-S International Symposium, San Jose (CA). 26–30 juin 1989. pp. 590–593. CNRC 31143.

Kekez, M.M., LoVetri, J., Podgorski, A.S., Dunn, J.G., et Gibson, G. A 60 joule, 600 kV, 1 ns rise-time Marx system. Proceedings of the Seventh IEEE

Pulsed Power Conference, Monterey (CA). 11–14 juin 1989. pp. 123–127. CNRC 30699.

LoVetri, J., Abu-Hakima, S., Podgorski, A., et Costache, G.I. HardSys: Applying expert system techniques to electromagnetic hardening. Proceedings of the IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, Denver (CO). 23–25 mai 1989. pp. 383–385. CNRC 30050.

McComb, T.R., Chagas, F.A., Feser, K., Gururay, B.I., Hughes R.C., et Rizzi, G. An empirical evaluation of various proposed methods of characterizing the dynamic behaviour of an HV impulse measuring system. Proceedings of Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans (LA). Septembre 1989. Mémoire nº 41.01, 4 pp. CNRC 31669.

McComb, T.R., Chagas, F.A., Feser, K., Gururaj, B.I., Hughes, R.C. and Rizzi, G. Comparative measurements of HV impulses to evaluate different sets of response parameters. IEEE Power Engineering Society 1990 Winter Meeting, Atlanta (GA). Sous presse. CNRC 31048.

Mishra, S.R., et Kashyap, S. Corrections to antenna factors due to presence of ground plane and chamber walls. Proceedings of International Conference on EM Interference and Compatibility, INCEMIC '89, Bangalore, Inde. Septembre 1989. pp. 57–60. CNRC 31141.

Moore, W.J.M., So, E., and Working Group IEEE-120. IEEE Master Test Guide for Electrical Measurements in Power Circuits. ANSI/IEEE STD 120-1989. IEEE Inc., New York (NY). 1989. CNRC 31670.

Muto, H., Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J.A. study of oxidation and water treeing in polyethylene. 1989 Annual Conference of Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Leesburg (VA). 29 octobre – 1er novembre 1989. pp. 247–252. CNRC 31065.

Roy, O.Z., et Podgorski, A.S. Tests on a shocking device — the stun gun. Med. Biol. Eng. Comput. 27: 445–448; 1989. CNRC 30816.

So, E. A microprocessor-controlled high-voltage current-comparator-based capacitance bridge. IEEE Trans. Power Delivery, PWRD-5(2): 533–537; 1990. CNRC 30934. (*Résumé dans* IEEE Power Eng. Rev. PER-10(4): 49; 1990. CNRC 31671).

Sturgeon, R.E., Willie, S.C., Luong, V., Berman, S.S., et Dunn, J. Furnace atomisation plasma emission spectrometry (FAPES). J. Anal. Atom. Spectrom. 4: 669–672; 1989. CNRC 31221.

Wartak, M.S., et Podgorski, A.S. Simple model of the gaseous plasma and its soliton solutions. CNRC/ERB-1027, février 1990. 4 pages. CNRC 30824.

Présentés

Bamji, S.S., Bulinski, A., et Densley, J. The effect of nitrogen impregnation on the aging mechanism of polymeric insulation. Corona Research Group (Cage Club), Université Trent, Peterborough (Ont.). 8–9 mai 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Electrical and water treeing studies at NRC. Central Research Institute of Electric Power Industry, Yokosuka Research Laboratory, Yokosuka, Japon. 29 septembre 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Water tree degradation of XLPE Cables and its impact on impulse breakdown strength. Chiba Research Laboratory of Furukawa Electric Company, Chiba, Japon. 2 octobre 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Electrical and water tree degradation in XLPE insulation. Fujikura Research Laboratory, Tokyo, Japon. 4 octobre 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Aging of polymer-insulated high voltage cables. Nagoya University, Nagoya, Japon. 5 octobre 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Water treeing in XLPE cables. Institute of Electrical Engineers of Japan (Kansei Chapter), Osaka, Japon. 9 octobre 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Electrical tree initiation and water tree degradation in polymers. Sumitomo Electric Research Laboratory, Osaka, Japon. 9 octobre 1989.

Bamji, S.S., Bulinski, A.T., et Densley, J. Electrical and water tree degradation in polymers. Showa Cable Research Laboratory, Kawasaki, Japon. 11 octobre 1989.

Bulinski, A., Bamji, S.S., et Densley, J. Polymer oxidation and water treeing. Corona Research Group (Cage Club), Université Trent, Peterborough (Ont.). 8–9 mai 1989.

Filipski, P.S. Impact of harmonics on metering. Second National Conference on Power Quality for End-use Applications, San Francisco (CA). 21–23 mars 1990. (Invité.)

Kashyap, S. Nuclear electromagnetic pulse (NEMP). Broadband EMI/EMC Seminar, Nepean (Ont.). 29 mars 1989.

Kekez, M.M. Self-similar properties of minimum spark over voltages in some gases, liquids, and solids. Corona Research Group (Cage Club), Peterborough (Ont.). 8–9 mai 1989.

Kekez, M.M. Leader formation: critical mass and spark-over voltage characteristics. 17th Annual Conference on Electrostatics, Lake Placid (NJ). 20–23 juin 1989. (Invité.)

McComb, T.R. Linearity tests for high voltage impulse measuring systems. Corona Research

Group (Cage Club), Peterborough (Ont.). 8–9 mai 1989.

McComb, T.R. Qualification of an impulse digitizer for HV tests. CIGRE Symposium, Mexico City, Mexique. 11 septembre 1989.

McComb, T.R. Digital techniques in HV tests. CIGRE 33-89 (WG03) IWD04, Mexico City, Mexique. 12–15 septembre 1989.

McComb, T.R. Comparative measurements of HV impulses to evaluate different sets of response parameters. CIGRE 33-89 (WG03) IWD25, Mexico City, Mexique. 12–15 septembre 1989.

Moore, W.J.M., et Filipski, P. Recent developments in power frequency instrumentation. Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Yougoslavie. 7 juin 1989.

Moore, W.J.M., et Filipski, P. Recent developments in power frequency instrumentation. The University of Novi Sad, Novi Sad, Yougoslavie. 8 juin 1989.

So, E. Calibration of optical instrument transformers. Panel Session on Utility Applications of Optical Measurements. Power Engineering Society 1990 Winter Meeting, Atlanta (GA). 4–8 février 1990. (Invité.)

Brevets

Bamji, S.S., Bulinski, T., et Densley, J. Electrical tree suppression in high-voltage polymeric insulation. Brevet É.-U. 4,870,121. 26 septembre 1989. CNRC 31672.

Miljanic, P.N. Transconductance amplifier with transformer coupled forward feed. Brevet É.-U. 4,884,038. 28 novembre 1989. CNRC 31500.

Miljanic, P.N., et Moore, W.J.M. Current ratio device. Brevet É.-U. 4,841,236. 20 juin 1989. NRC 31673.

So, E. Electrical measuring instrument for high voltage power measurements. Brevet É.-U. 4,833,401. 23 mai 1989.

Laboratoire des systèmes intelligents

Chef de laboratoire — M.M.C. Collins

Objectifs

Mandat

- Développer, par l'entremise de travaux de recherche appliquée et de la collaboration avec l'industrie et les universités canadiennes, la technologie des systèmes intelligents qui permettra d'améliorer la position concurrentielle de l'industrie canadienne dans les nouveaux secteurs de la robotique fondée sur les capteurs et des systèmes à base de connaissances.

Objectifs stratégiques

- Développer les technologies informatiques et liées aux capteurs qui constitueront une base pour la réalisation de systèmes autonomes et faire la démonstration de ces technologies.
- Acquérir et développer des technologies fondées sur l'ordinateur pour la création de systèmes informatiques perfectionnés qui permettront la représentation, l'acquisition et le traitement des connaissances.
- Encourager l'exploitation industrielle des technologies informatiques de pointe en créant, en favorisant et en faisant valoir les occasions d'appliquer ces technologies.

Objectifs opérationnels

- Établir un laboratoire national d'excellence dans le secteur de l'intelligence artificielle appliquée par la réalisation de projets offrant des défis techniques et comportant un potentiel commercial certain.
- Développer et faire la démonstration au plus tard en 1990–91 du prototype du système du Conseiller intelligent, en collaboration avec l'Université Laval, Systèmes XA Incorporée, Price Waterhouse Québec, Information Systems Group et l'Université de Leeds du Royaume-Uni.
- Lancer en 1990, en collaboration avec MBP Technologies Inc. et Noranda Ltée, les travaux de développement du système expert de pointe en temps réel pour la commande des processus, d'après les résultats de l'étude de faisabilité PRECARN (Association pour la recherche pré-concurrentielle).
- Poursuivre le développement des architectures systèmes parallèles et des méthodologies logicielles pour le traitement temps réel industriel par collaboration directe et transfert de technologie à Precise Software Technologies Inc., et terminer le transfert à cette compagnie de la responsabilité d'exploitation commerciale du système d'exploitation Harmony,[1] dans le cadre d'un accord de licence restructuré.
- Poursuivre le développement des techniques et algorithmes de mesure tridimensionnelle pour l'interprétation des images 3D. Développer avant 1991–92 l'enregistrement simultané de la forme et de la couleur d'objets et de scènes et en faire la démonstration.
- Participer formellement à un projet appuyé par PRECARN portant sur un robot mobile destiné aux applications dans les centrales nucléaires, transférer la technologie de notre architecture système de commande de véhicule robotique aux partenaires industriels de Hydro Ontario et d'Énergie atomique du Canada Limitée (EACL). Ces travaux s'ajoutent à la poursuite du développement d'un robot mobile pour les applications en soins de santé, en collaboration avec le Laboratoire de génie biomédical.
- Poursuivre les travaux exploratoires sur le traitement optique non linéaire, en particulier des données de distance 3D, par mélange d'ondes optiques dans des milieux photoréfringents et absorbants. Mettre sur le marché en 1990, en collaboration avec la Compagnie Marconi du Canada, un laser à fibres optique dopé à l'erbium pour télémétrie sans risque pour l'oeil.
- Poursuivre le développement de fonctions de pointe en vision robotique et en commande intelligente et faire la démonstration leur application au sous-système du Télémanipulateur spécialisé pour manipulations fines (SPDM) du Système d'entretien mobile (MSS) (la participation canadienne à la station spatiale des États-Unis), en collaboration avec

[1] Marque déposée réservée à l'usage exclusif de sa Majesté du chef de la Société canadienne des brevets et d'exploitation Ltée.

des équipes industrielles participant à ces travaux de développement dans le cadre du programme des Technologies stratégiques en automatisation et en robotique (STEAR).

- Collaborer avec Spar Aérospatiale Limitée au développement et à l'évaluation de l'adéquation de la caméra télémétrique montée sur le poignet pour la vision robotique dans l'espace.

Description du programme

Trois des sections du Laboratoire des systèmes intelligents sont situées à Ottawa — la Section d'automatique, la Section de recherches en informatique et la Section photonique et capteurs — tandis qu'une quatrième section, la Section de robotique et automatisation se trouve à Winnipeg. Cette section fait partie de l'Institut canadien de technologie industrielle (ICTI). Le Laboratoire effectue des travaux de recherche appliquée qui contribuent à l'exploitation efficace des technologies informatiques de pointe.

Les technologies de pointe en automatisation nécessitent des appareils qui peuvent adapter leur comportement à un environnement variable et à des tâches aux demandes changeantes. Les progrès techniques sont nécessaires dans trois secteurs majeurs, la perception sensorielle, la décision et la commande. Le Laboratoire consacre des projets de recherches importants à chacun de ces secteurs. Les composantes technologiques seront intégrées à des systèmes opérationnels intelligents grâce aux techniques de l'intelligence artificielle appliquée.

La Section photonique et capteurs poursuit ses travaux sur le perfectionnement des capteurs, en particulier sur la vision artificielle 3D et l'optique en ondes guidées. On étudie, en collaboration avec l'industrie et d'autres partenaires, les applications potentielles des méthodes brevetées de vision 3D. On travaille présentement à la conception et la fabrication d'un scanner laser à accès sélectif pour les applications spatiales. Un laser RVB sera intégré à l'un des prototypes de caméra pour démontrer l'enregistrement au registre des couleurs d'une scène. Certains travaux portent plus particulièrement sur la représentation et la segmentation des images 3D en vue de produire un système de vision artificielle 3D qui ne se limitera pas à l'acquisition des données d'images et analysera aussi la scène. D'autres recherches sont en cours sur des capteurs optiques en ondes guidées et sur le traitement d'images/signaux optiques; certaines composantes de ces recherches sont entreprises en collaboration avec de nombreux partenaires extérieurs.

Le secteur de la robotique fondée sur les capteurs relève de la Section d'automatique. Les travaux traitent des questions étudiées dans le contexte des bras robotiques et des véhicules mobiles. L'architecture du système d'exploitation multiprocesseur en temps réel Harmony est au coeur de ces travaux; elle a été élaborée spécifiquement pour les applications en commande industrielle temps réel complexe, comme par exemple la robotique. Les méthodes de mesure 3D ont été adaptées à une caméra montée sur le poignet, aux fins d'expériences en commande et en vision robotique. Les travaux de développement de l'architecture du système de commande visent plus particulièrement la versatilité et la souplesse dans l'intégration des capteurs multiples pour la commande intelligente.

La Section de recherches en informatique travaille en intelligence artificielle appliquée, surtout sur les systèmes à base de connaissances et les systèmes experts. On compte parmi ses travaux le suivi de l'état des moteurs, l'apprentissage par les machines, les systèmes experts en temps réel, et le développement d'un système expert-tuteur. Puisqu'il s'agit de projets de recherche appliquée, la collaboration avec les utilisateurs éventuels constitue un aspect important de ces travaux.

À titre de composante de l'ICTI de Winnipeg, la Section de robotique et automatisation collabore avec des partenaires industriels. Des projets sont présentement en cours dans les secteurs de la robotique fondée sur les capteurs, de la production et de l'inspection assistées par ordinateur et des systèmes à base de connaissances. On travaille à l'établissement de liens étroits avec les sections du Laboratoire situées à Ottawa en vue d'étendre la base de compétence actuelle.

Transfert de technologie

- Le système Harmony est un système d'exploitation de pointe qui comporte un potentiel commercial très intéressant sur le marché mondial. Jusqu'à présent, les efforts de commercialisation de cette technologie n'ont eu qu'un succès partiel. La restructuration d'un des preneurs de licence originels a entraîné la création d'une nouvelle entreprise, Precision Software Technologies Inc., dont la stratégie de production sera entièrement fondée sur Harmony. Cette réorganisation devrait renforcer substantiellement la disponibilité commerciale, la distribution et le soutien de Harmony, et les membres de l'équipe de

développement collaborent avec l'entreprise à cette fin.

- Hymarc Ltd. offre à ses clients une méthode mise au point l'an dernier, l'«inspection différentielle». Cette méthode permet de mesurer les très petites variations de dimensions (~5 µm) que subit un objet avec le temps.

- Après la réalisation d'une version de production du scanner mono-axe monté sur le poignet pour la vision robotique, Servo-Robot Inc. élabore présentement un plan visant le lancement de la production commerciale de la nouvelle caméra bi-axe montée sur le poignet.

Programmes coopératifs

- Le projet du Conseiller intelligent se poursuit en collaboration avec Systèmes XA Incorporée, Price Waterhouse Québec, l'Université Laval de Québec, et l'Université de Leeds au Royaume-Uni. Ce système donnera à l'utilisateur des conseils spécifiquement adaptés à ses besoins immédiats.

- Le prototype du Conseiller de diagnostics et de dépannage des défaillances d'accélération du moteur à réaction J85 sera modifié de manière à produire un prototype complet permettant les essais sur le terrain. Il s'agit d'un projet en collaboration avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique, avec le soutien du ministère de la Défense nationale.

- Le Laboratoire participe, avec MPB Technologies Inc. et Noranda Research, au projet PRECARN qui vise l'application de systèmes experts en temps réel à la commande des processus. La première démonstration sera la commande d'une cellule de flottation cuivre–zinc.

- Une étude de faisabilité sur les robots mobiles a été réalisée dans le cadre de PRECARN par une équipe industrielle dirigée par Hydro Ontario et EACL. Leur interaction avec notre projet de robot mobile pour les soins de santé pendant cette étude a résulté en une invitation à participer activement à — l'équipe dans le cadre de la phase de développement et d'implantation qui doit commencer au printemps 1990 et durer quatre ans. Notre rôle immédiat consiste au transfert de notre technologie d'architecture système et de commande du véhicule de manière à former un point de départ pour leur plate-forme mobile. Les activités de collaboration futures porteront sur le développement et l'application de l'intelligence et de la fonction sensorielle au guidage et à la commande de navigation.

- En prolongement de l'évaluation préliminaire de vision télémétrique effectuée en collaboration avec Spar Aérospatiale Limitée, une caméra bi-axe montée sur le poignet sera construite pour Spar dans le cadre d'un contrat et sera évaluée conjointement en vue des applications de vision dans le sous-système SPDM du MSS.

- Des travaux exploratoires en traitement et détection optiques ont commencé à susciter un intérêt commercial. Des prototypes de composants pour systèmes de vision 3D sans risque pour l'oeil ont été complétés. Une nouvelle photodiode à effet latéral fonctionnant à 1,5 µm a été conçue, fabriquée et testée en collaboration avec RCA à Montréal. On a fait la démonstration d'un laser à fibres optiques dopé à l'erbium haute puissance. Nous poursuivons notre collaboration avec la Compagnie Marconi du Canada et l'Université d'Ottawa sur un détecteur de champ électro-optique, en particulier en ce qui a trait à l'implantation du système.

- Depuis l'établissement du programme STEAR par le Bureau du programme canadien de la station spatiale (CSSPO), notre Laboratoire collabore à la formulation des besoins, à l'évaluation des propositions et au contrôle des contrats industriels. Après la fin des études des principes de conception réalisées en collaboration avec l'industrie, le Laboratoire collaborera directement avec les entreprises choisies pour la réalisation de la phase de développement de ce programme.

- Nous avons entrepris un projet en collaboration avec l'Institut canadien de conservation en vue du développement d'une caméra télémétrique couleur.

Section d'automatique

Chef — N. Burtnyk

Introduction

Les futures générations de robots seront des systèmes autonomes intelligents qui utiliseront des perceptions sensorielles pour accomplir des opérations de raisonnement et de planification pour corriger leurs actions. Grâce à cette souplesse accrue, la gamme d'applications s'étendra à de nouveaux secteurs bien au-delà de l'atelier d'usine, particulièrement dans des environnements difficiles et dangereux comme l'espace, les profondeurs marines, les mines et les forêts, là où la survie des humains dépend directement d'une connaissance de l'environnement et de la capacité de s'adapter aux situations inattendues.

Les activités de recherche de la Section sont axées sur cet objectif à long terme. L'obtention de ces fonctions de pointe nécessitera des progrès techniques majeurs dans plusieurs secteurs. La Section travaille au développement de ces technologies dans le cadre de trois projets : les architectures de multiprocesseurs en temps réel, la robotique à capteurs et le robot mobile pour les applications en soins de santé. Ce dernier projet a été mené en collaboration avec le Laboratoire de génie biomédical. La Section d'automatique s'est surtout penchée sur la technologie générique des véhicules autonomes. Quant à la Section de génie médical, dont les travaux sont décrits ailleurs dans le présent *Bulletin*, elle a travaillé surtout au développement de l'application en soins de santé.

Architectures de multiprocesseurs pour la commande en temps réel

W.M. Gentleman, J.V. Kelley, S.A. MacKay, D.A. Stewart, M. Wein, C. Gauthier[1]

Le système d'exploitation en temps réel Harmony

L'objectif à long terme de ce projet est de contribuer au développement d'architectures de traitement parallèle destinées aux applications industrielles de commande en temps réel, en particulier du point de vue du génie logiciel et du développement des outils logiciels. Un de nos objectifs précis est de poursuivre l'amélioration du système d'exploitation Harmony afin d'élargir son domaine d'application et d'accroître son impact commercial. Un volet plus large du projet est le développement de méthodologies pour la production plus efficace de logiciel temps réel par le recours à des méthodes de génie logiciel plus performantes (par exemple, l'utilisation de composantes logicielles).

Nous travaillons au développement de la technologie Harmony, et en particulier du système d'exploitation Harmony, depuis 1982 et nous continuons sans cesse de les améliorer et de les enrichir. Le système d'exploitation est mis à la disposition d'utilisateurs extérieurs au CNRC grâce à une entente de tests bêta presque depuis ses débuts, et on peut le trouver sur le marché depuis plusieurs années via quatre principaux accords de licence. Il a été utilisé dans le cadre de plusieurs projets par l'Université de Waterloo, l'Université Carleton, le Collège royal militaire et l'Université Queen's. D'autres universités en ont également fait l'acquisition. Divers utilisateurs industriels ont acheté Harmony pour une éventuelle utilisation «maison» ou dans des projets futurs, et les produits incorporant Harmony ont commencé à faire leur apparition. La communauté des utilisateurs est d'un précieux secours dans l'évolution de Harmony, car elle nous signale les enrichissements et améliorations nécessaires, ainsi que les problèmes du système actuel.

Travaux en vue de la version 4.0

La prochaine version importante de Harmony, la version 4.0, devrait sortir à l'automne 1990. Elle incorporera les nouvelles fonctions suivantes :

- Compatibilité totale avec les versions 2 et 3 du Macintosh Programmer's Workbench (MPW) de Apple à titre d'environnements de développement pour Harmony.
- Compatibilité avec deux nouveaux systèmes cibles, l'ordinateur monocarte Golden Triangle FirePower et l'ordinateur monocarte GreenSpring SpringBoard. Ces deux systèmes sont des cartes Nubus™ pour le Mac II et comptent parmi nos efforts continus visant une corrélation étroite entre l'environnement de développement et l'environnement cible.
- Compatibilité avec la norme C ANSI en cours d'élaboration, y compris plusieurs fonctions de bibliothèque C ANSI.
- L'émulateur multipériphérique (EMP), qui permettra le recours à des interfaces utilisateur perfectionnées pour les systèmes de commande en temps réel, a été améliorée et est présentement en cours d'évaluation.

[1] Travailleur invité.

- Le «dévermineur» de Harmony a été amélioré et comporte un vérificateur de mémoire ainsi qu'un mécanisme de tampon rétrospectif.
- On a ajouté la fonction de point flottant au niveau du système d'exploitation afin de satisfaire aux besoins de certaines applications, tout en traitant les questions posés par le temps réel.
- Nous poursuivons la restructuration de l'arbre de sources Harmony afin de réduire le plus possible les redondances. La plus récente modification permet un meilleur partage des sources et des objets entre les outils et les applications Harmony.

La version à liaisons interprocesseur de Harmony, qui permettra le recours aux systèmes dans lesquels les processeurs ne peuvent partager la mémoire, a été conçue et on a entrepris son implantation. Elle sera incluse dans une version ultérieure.

Évolution du système de gestion des sources

La structure de l'arbre de sources Harmony diffère de celle des systèmes classiques en raison des exigences liées aux systèmes intégrés. On compte parmi ces besoins la compatibilité nécessaire entre le système de développement et le système cible, la maintenance et l'évolution simultanée de plusieurs versions de chaque application, les travaux d'intégration sur des ordinateurs de développement peu semblables, et l'intégration des travaux de développeurs pouvant provenir de divers organismes.

Deux facettes de l'approche de la gestion des sources Harmony (appelée «cellule de base de données et de sélecteurs», la DaSC) sont essentielles à la résolution de ces questions. En premier lieu, le code d source est considéré comme une base de données, dont on choisit des éléments de manière à former une instanciation particulière d'un programme. La base de données prend une forme arborescente et les sélecteurs correspondants à diverses instanciations sont aussi structurés en arborescence. Dans un deuxième temps, le développement s'effectue avec des fichiers dans des arbres à données partielles parallèles à l'arbre de base, qui peuvent être superposés à l'arbre de base de manière à donner au développeur l'impression que l'arbre de base se compose d'une série de couches. Toutefois, les relations définies par les divers arbres ne sont perdues qu'au moment où on effectue une consolidation.

Deux nouveaux outils de gestion de sources ont été développés pour l'automatisation de certaines parties du processus de génie logiciel et pour les expériences sur des interfaces utilisateur graphiques. L'un de ces outils est «derive», qui crée un fichier de sélecteurs à partir d'une vue composite de la base de données source. Le second est «consolidate», qui comprime une série de couches en une seule couche. Les deux sont supportés dans l'environnement de développement du Macintosh.

Collaboration avec les universités

Nous avons poursuivi notre collaboration avec l'Université de Waterloo. Après la fin du projet de maîtrise en mathématiques «Design Experience with a Multiprocessor Window System Architecture» par J.V. Kelley, M. Wein supervise le travail de deux étudiants en maîtrise en mathématiques de l'Université. Les sujets abordés sont la visualisation des structures de tâches, et les interfaces utilisateur. W.M. Gentleman assure la co-supervision de C. Gauthier, un étudiant au doctorat en génie électrique à l'Université d'Ottawa. Les premiers travaux portent sur l'architecture Harmony à liaison interprocesseur dans laquelle la mémoire ne peut être partagée entre les processeurs.

Collaboration avec l'industrie

La responsabilité de l'exploitation commerciale de Harmony a été transférée à Precise Software Technology Inc., Ottawa (Ontario), une entreprise fondée par plusieurs anciens employés de DY-4 Systems Inc. après la restructuration de DY-4. Cette nouvelle compagnie prévoit fonder toute sa gamme de produits sur la technologie Harmony. Cette restructuration permettra d'assurer la distribution et le soutien des systèmes processeurs provenant d'autres fabricants que DY-4 Systems. Ce type de soutien est souhaitable puisque l'autre distributeur, P-Can Research Inc., n'existe plus. Les membres de la Division collaborent avec Precise Software sur l'adaptation du produit aux cartes Macintosh (voir plus haut).

Publication, documentation et popularisation

La rédaction de la documentation d'un système logiciel de production exige beaucoup plus qu'un simple présentation académique classique des résultats. Les besoins en documentation et en publicité doivent être satisfaits via plusieurs média. La publication habituelle dans les journaux spécialisés et lors de conférences techniques est un de ces supports. Plusieurs nouveaux rapports techniques sont disponibles. DGE/ERB-1011 traite de questions qui touchent à la conception et l'évolution des applications temps réel sur multiprocesseurs et de la manière dont Harmony satisfait à ces questions. DGE/ERB-1024 et DGE/ERB-1025 décrivent les problèmes liés à l'utilisation des outils classiques pour la configuration de

systèmes temps réel et parlent d'approches optionnelles. Cinq nouvelles notes d'application ont été publiées dans la série des notes d'application. Ces nouvelles notes traitent de la compatibilité et du soutien avec C ANSI, des procédures de consolidation, et des architectures d'ordinateurs monocartes pour Harmony.

Robotique à capteurs

Ce projet vise à développer le savoir-faire lié aux technologies élémentaires de la robotique à capteurs et de faire la démonstration de leur intégration dans des systèmes exploités dans des environnements non structurés. Les questions techniques sur lesquelles on a surtout travaillé sont le développement et l'application d'un système de télémétrie pour la vision robotique et le développement d'un environnement de commande du système multiprocesseur pour l'intégration multicapteur et multibras. Les travaux antérieurs sur la planification autonome des tâches ont été interrompu, ayant établi la difficulté des opérations dans un environnement non structuré. À ce stade, nous croyons que les problèmes de perception et de compréhension de ces environnements ne pourront trouver de solutions réalisables par un système autonome avant au moins la prochaine décennie. Quoi qu'il en soit, les applications en environnement non structuré nécessitent habituellement l'intervention d'un opérateur humain. On a donc commencé des travaux sur le développement des principes de la commande de supervision selon lesquels un opérateur utilise ses compétences en perception et en planification pour la supervision des activités du robot. L'une des principales applications cibles de ce projet est le télémanipulateur spécialisé pour manipulations fines (SPDM) à deux bras du système d'entretien mobile du Programme canadien de la station spatiale.

Commande robotique

Environnement de commande à deux bras

S. Elgazzar

Notre laboratoire travaille depuis 1987 sur un contrôleur robotique configurable et adaptable, sans cesse amélioré et enrichi en vue de l'exploitation à deux bras. Cet enrichissement est fondé sur Kali, un produit dérivé du logiciel RCCL par l'Université McGill, adapté en collaboration avec McGill de manière qu'il puisse opérer sous l'environnement Harmony. L'implantation actuelle pilote deux bras PUMA 560 qui servent aux expériences sur la commande multibras.

La figure 1 montre la structure de tâches actuelle de Harmony pour cet environnement de commande. Le système à deux bras compte

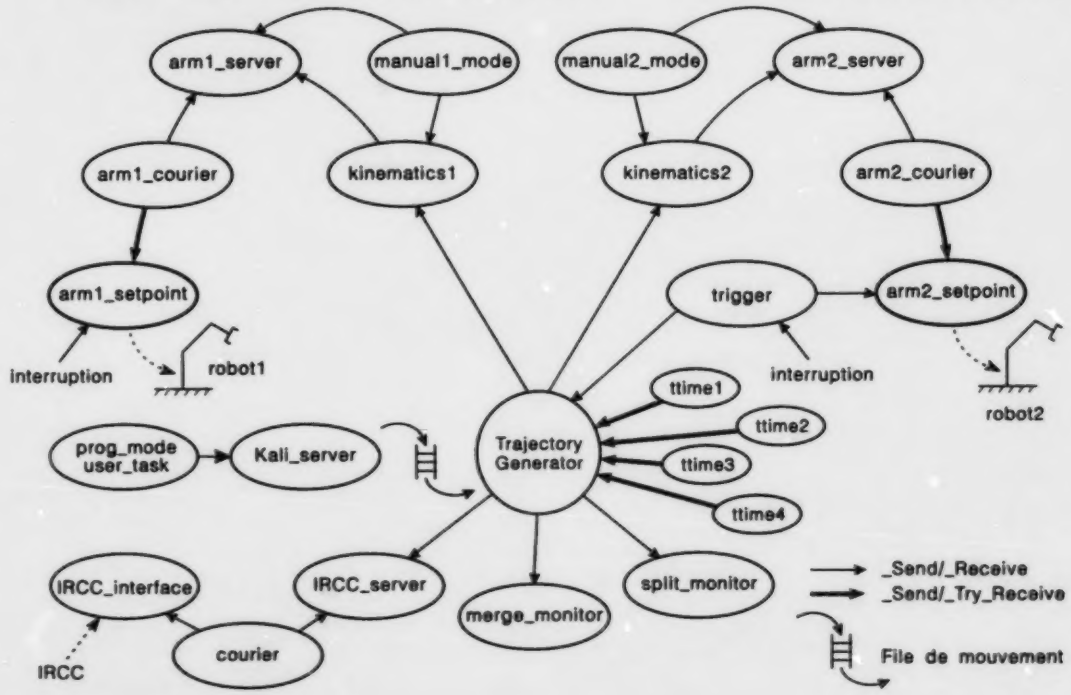


Figure 1. Structures des tâches Harmony du contrôleur à deux bras.

deux modes d'exploitation. En mode synchronisé, chaque bras agit indépendamment mais vérifie de temps en temps l'état de l'autre. En mode coordonné, les deux bras sont liés par des contraintes cinématiques, par exemple deux bras agrippant et transportant le même objet. Pour les mouvements synchronisés, le générateur de trajectoires doit interpoler les trajectoires de chaque bras. Pour les mouvements coordonnés, seule la trajectoire de l'objet doit être calculée puis transformée dans le système de référence correspondant à chaque bras. Deux tâches de surveillance communiquant avec le générateur de trajectoires servent à implanter la transition d'une phase à l'autre. Au niveau utilisateur, deux primitives ont été définies. La première, appelée «merge», établit une tâche de surveillance qui attend que chaque bras ait terminé son dernier mouvement avant de combiner leurs systèmes de mouvement. Ils sont donc synchronisés avant la prochaine phase de l'opération. Le complément de «merge», «split», crée une tâche qui attend la fin du mouvement coordonné avant de diviser le système de mouvement unique en deux systèmes de mouvement, libérant chaque bras de manière qu'il puisse fonctionner séparément.

Bien que cette structure soit fonctionnelle, une bonne partie de la structure de tâches originale en ligne de RCCL a été conservée et il est nécessaire d'entreprendre une restructuration totale pour profiter complètement des fonctions multitâches de Harmony, ce qui nécessitera des travaux élaborés de modification et de réécriture du code, mais produira une architecture fondée sur les objets pour la commande du robot avec correspondance étroite entre les objets et la fonctionnalité du système matériel.

Commande de supervision pour les environnements non structurés

J.S. Basran,[1] N. Burtnyk

Les applications actuelles de la robotique dans un environnement non structuré doivent avoir recours à la téléopération. Un mode de commande de supervision pour télérobotique est en cours de développement pour le soutien de l'exploitation semi-autonome dans un environnement non structuré. Dans ce mode, l'opérateur utilise ses propres capacités de perception et de compréhension pour aider le robot à construire un modèle structuré de l'environnement réel.

La figure 2 montre une version expérimentale du système superviseur. L'opérateur observe l'environnement grâce à une paire de caméras vidéo et transmet des informations relatives à l'emplacement, l'orientation et l'identité des objets et autres composantes pertinents à la tâche à réaliser. Le robot reçoit des instructions pour son déplacement dans cet environnement (à partir du modèle approximatif produit), et pour le raffinement des emplacements et orientations des composantes du modèle par détection grâce à la vision artificielle. La gravité du problème de vision artificielle décrit ici est beaucoup plus limitée que dans un environnement totalement inconnu. L'opérateur donne aussi au robot des instructions visant l'exécution d'une séquence de tâches grâce à un savoir-faire fondé sur les capteurs, le niveau de décomposition de la tâche étant déterminé par l'opérateur en conformité du répertoire de savoir-faire et de la complexité de la tâche.

Les premiers travaux ont porté sur l'étude de l'interface opérateur et sur l'intégration de la vision artificielle pour vérifier la faisabilité des principes de base. La prochaine étape consistera en l'étude de la planification du trajet, avec évitement des collisions et représentation améliorée du modèle des tâches.

[1] Travailleur invité.

Vision robotique

Scanner bi-axial de profil de distance monté sur poignet

G.H. Bechthold, C. Archibald

Deux prototypes du nouveau scanner bi-axial ont été fabriqués au cours de l'année écoulée, l'un pour le CRNC et l'autre pour l'Université McGill. Le logiciel de commande du scanner a été écrit et testé, tandis que les scanners ont été étalonnés. Pendant la mise en service du télémètre, les tests de l'appareil ont révélé un problème d'exactitude du système d'entraînement dans l'axe des *Y*. Bien qu'il fasse preuve d'un bon niveau de répétabilité si on suit le même trajet d'approche, l'exactitude absolue chute si l'approche varie. On ajoute présentement un codeur pour corriger ce problème.

Les télémètres actuels utilisent un laser hélium–néon comme source lumineuse. Le trajet optique comprend un modulateur opto-acoustique et une fibre optique pour transmettre la lumière à la tête du scanner montée sur le poignet du bras robotique. Cette partie du système est coûteuse et relativement fragile. L'apparition récente de diodes laser dans le visible plus puissantes permet d'envisager leur utilisation pour remplacer la source lumineuse actuelle. La diode laser solide peut être modulée directement et est assez petite pour être montée directement sur le scanner. Les tests de laboratoire sont en cours pour évaluer son

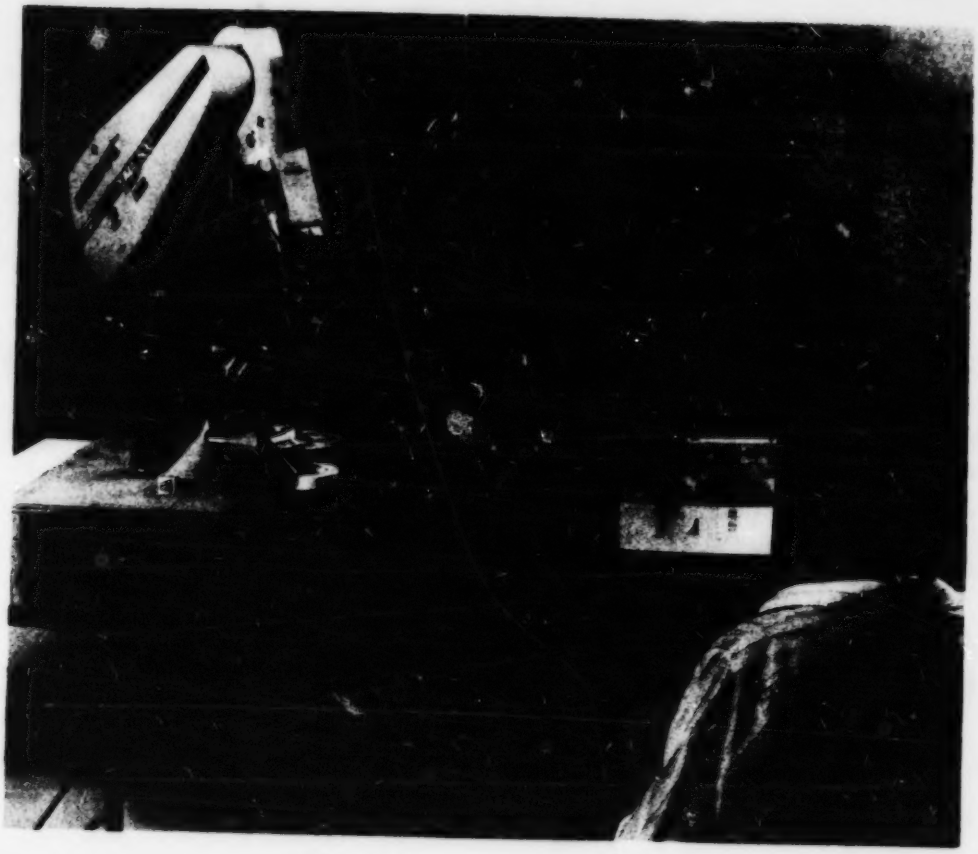


Figure 2. Robot exploité sous commande de supervision. Les composantes essentielles ajoutées au robot sont une paire de caméras vidéo pour voir l'environnement, une caméra télémétrique montée sur le poignet pour la vision machine et un ordinateur superviseur avec l'interface opérateur appropriée.

adéquation au scanner. Si les résultats sont satisfaisants, la diode sera incorporée aux unités existantes.

Poursuite en temps réel d'un objet mobile

C. Archibald, S. Venkatesan[1]

Il nous a été possible de suivre un objet mobile avec 5 degrés de liberté au moyen de deux scanners de profil de distance en montage croisé. On garde constante la position-orientation de l'organe terminal du robot par rapport à un objet plat en mouvement. La série de photographies de la figure 3 montre le robot suivant un objet en mouvement. La poursuite a été réalisé aux vitesses linéaire et angulaire de, respectivement, 20 cm/s et 25°/s. On peut faire varier l'accélération/décélération et la vitesse maximale de la trajectoire du robot selon le comportement que l'on souhaite obtenir du robot. La fonction de poursuite a été implantée sur une architecture multiprocesseur tournant sous le système d'exploitation Harmony. Quatre processeurs MC68020 sont montés en parallèle pour recueillir les données de distance, pour prendre la décision de bouger ou non le robot, et pour commander le robot en temps réel. Les données de distance sont recueillies à toutes les 37 ms et un mouvement de robot est transmis à toutes les 28 ms. Les tâches Harmony ont été écrites en fonction de ces contraintes asynchrones temps réel.

Le succès de ces expériences nous a encouragés à passer à l'étude de la prise des objets en mouvement.

Détermination de la position-orientation d'objets connus

C. Archibald, C. Merritt

Nous avons décrit dans l'édition antérieure du *Bulletin*, 3(3), les travaux sur la détermination de la position-orientation d'un interface de saisie de satellite à partir de données de distance

[1] Travailleur invité.

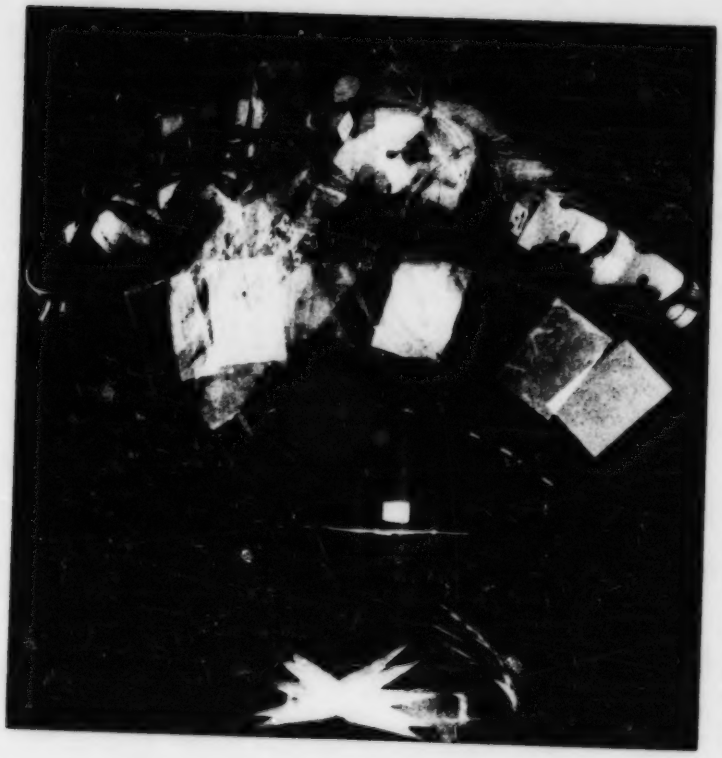


Figure 3. Photo à exposition multiple de la poursuite d'un objet au moyen du scanner télémétrique monté sur poignet.

partielles. Nous avons étendu nos résultats à la détermination de la position-orientation de tout objet connu et modélisable au moyen des bords. Les points de bords sont extraits des données de distance partielles à partir d'un détecteur de bords spécial. On établit la correspondance entre ces points de bords et le modèle d'un objet grâce à un algorithme de recherche en arborescence, limité par la géométrie de l'objet. Après avoir établi la correspondance entre les points de bords et le modèle, on peut calculer les transformations du système de coordonnées local du télémètre en celui du modèle, de manière à obtenir la position-orientation de l'objet.

Ce projet visait à automatiser partiellement les tâches réalisées en téléopération. Avec l'importance accrue accordée depuis peu à la commande de supervision des robots, le problème de détermination de la position-orientation devient une question de «raffinement». Nous nous fondons présentement sur ce que nous avons appris lors de nos études sur la mesure de la position-orientation, pour développer les algorithmes permettant de raffiner l'estimation de la position-orientation d'objets connus.

Raffinement de la mesure de position-orientation

C. Merritt, S. Elgazzar

L'objectif des travaux de raffinement de la mesure de position-orientation est de déterminer la position-orientation réelle d'un objet dans un environnement robotique, à partir de sa position-orientation approximative. On utilise les données provenant de télémètres laser montés en configuration croisée sur le poignet du robot. Le raffinement nécessite l'identification de la translation et de la rotation qui transforment un système de coordonnées défini en celui du modèle de l'objet de manière à obtenir sa position dans l'environnement robotique.

Notre méthode utilise la position-orientation estimée de l'objet pour évaluer la surface de l'objet correspondante pour chaque point de données. L'algorithme de raffinement détermine ensuite les valeurs de rotation et de translation nécessaires pour réduire au minimum la distance totale entre les points de données et les surfaces, grâce à une procédure d'itération. L'implantation de la méthode est terminée. Il nous reste à étudier le comportement de l'algorithme, en particulier pour déterminer le niveau tolérable d'erreurs dans l'estimation originelle de position-orientation pour obtenir une solution convergente.

Robustesse de la vision

G. Roth

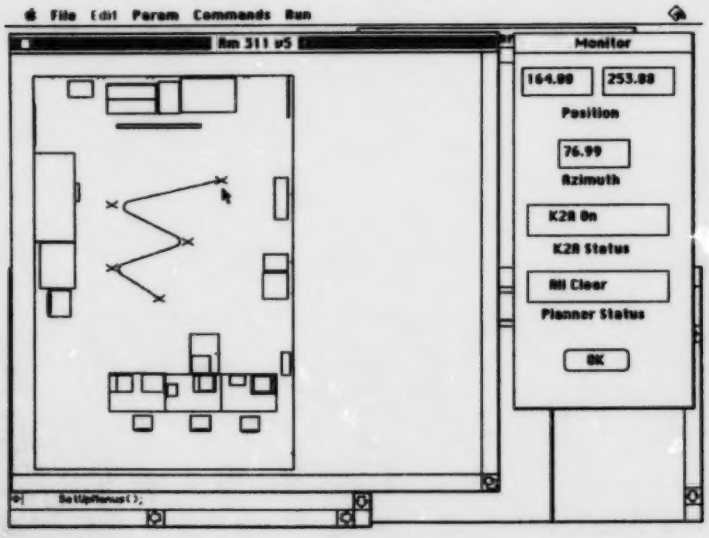
L'interprétation des données de capteur est une question clé de la robotique et de la vision artificielle. Plusieurs approches antérieures sont déficientes en ce qui a trait à la robustesse, qu'on définit comme la faculté de composer avec les données manquantes ou excédentaires. La raison est que tous ces approches passent par une méthode de moindres carrées pour obtenir les solutions dans des secteurs problèmes comme la reconnaissance d'un objet, la détermination de la position-orientation, et l'intégration multi-image. Bien que l'approche par moindres carrés soit simple à implanter et ait été largement étudiée, on sait depuis longtemps que les algorithmes fondés sur cette approche sont peu robustes.

Nos travaux, réalisés dans le cadre d'un projet de collaboration avec le groupe de robotique et de vision artificielle de l'Université McGill, visent à déjouer ces limites. La notion clé est que, bien que les ressources en calcul nécessaires à l'obtention de la robustesse soient substantielles, elles sont souvent moins importantes que prévu. La notion d'échantillonnage

aléatoire a été utilisée pour produire un algorithme robuste d'extraction et d'établissement de correspondances des primitives géométriques. Cette approche suppose qu'un sous-ensemble minimal de la population totale de points donne souvent une bonne estimation des caractéristiques de tous les points. On a montré que l'application de cette notion peut rendre plus robuste tout algorithme fondé sur l'approche par moindres carrés.

L'extraction consiste à trouver les primitives dans les données de capteur, une primitive étant définie analytiquement (par exemple une ligne, une sphère, etc.). On a fait la démonstration de la possibilité d'extraction de primitives géométriques des données de distances bi- et tridimensionnelles. Cette extraction est essentielle à des problèmes comme la navigation du robot et la reconnaissance d'objets. L'étape suivante consistera à démontrer que la même approche peut être appliquée au problème de la correspondance des primitives. La correspondance entre les primitives géométriques est à la base de l'algorithme de détermination de position-orientation et de raffinement de la mesure de position-orientation. Grâce à la méthode robuste de correspondances, ces algorithmes seront beaucoup plus pratiques puisqu'ils pourront être appliqués à une plage beaucoup plus vaste de conditions d'entrée.

Figure 4. Le tableau de bord du robot montre maintenant le graphique de la pièce, le trajet suivi par le véhicule, la position du véhicule, l'état actuel du véhicule et l'état du _control_server.



Robot mobile pour les applications en soins de santé

Il s'agit d'un projet conjoint auquel participent des membres des Sections d'automatique et de génie médical. Les travaux de la Section de génie médical, qui portent surtout sur les applications en soins de santé de la technologie du robot mobile, sont décrits ailleurs dans le présent *Bulletin*. La Section d'automatique a surtout travaillé jusqu'à présent au développement d'un système entièrement intégré, opérationnel et extensible, qui sera la base des recherches de pointe sur la navigation par capteurs.

Développements généraux

D.A. Green, R. Liscano

Le CNRC a été invité à participer activement au projet du robot mobile soutenu par PRECARN. On compte parmi les participants Hydro Ontario, l'Énergie atomique du Canada Limitée, l'Université de Toronto et l'Université York. Au départ, le CNRC participera au transfert de la technologie de commande du véhicule et de l'architecture du système aux autres participants qui ont l'intention de travailler surtout au développement d'un système de vision actif pour la navigation du véhicule. On a aussi organisé des visites et des rencontres avec des professeurs et des étudiants de second et troisième cycles dans plusieurs universités pour discuter des collaborations de recherche.

Cette année, on a fait la démonstration de la fonction d'évitement des collisions en temps réel. Comme auparavant, un utilisateur communique au véhicule les points de destination via une interface graphique simple (figure 4). Toutefois, on a intégré un capteur télémétrique actif qui sert à détecter la présence des objets dans le trajet du véhicule. Lorsqu'un objet est détecté, le véhicule s'arrête et ne repart qu'après l'enlèvement de l'objet ou la réorientation du véhicule de manière que l'obstacle ne présente plus de danger. Une des principales composantes de cette démonstration est une nouvelle architecture de système, pilotée par les événements et extensible.

Dans l'édition précédente du *Bulletin*, nous avons dit qu'une méthodologie de production des trajectoires de mouvement a été développée à partir des courbes de transitions «clothoïdes». Cette méthode a été améliorée pour éliminer les erreurs détectées à l'usage. Nous préparons un rapport qui décrira en détail les calculs des trajets de transition des paires clothoïdes. On compte parmi les autres développements l'amélioration de l'interface utilisateur du système, la mise à niveau de tout l'environnement d'exécution pour l'amener au niveau de la version 3.0 de Harmony, et le début d'une réorganisation majeure de l'environnement de développement logiciel pour profiter pleinement

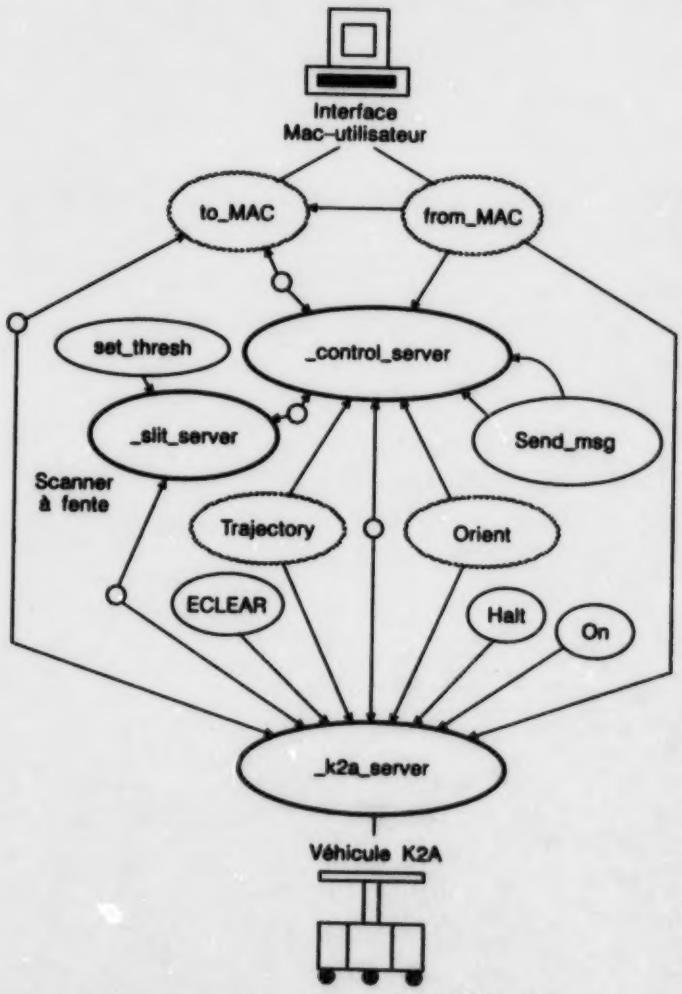
de la nouvelle méthode de gestion de configuration élaborée par le groupe Harmony.

Architecture de système

D.A. Green, R. Liscano

Au départ, les travaux sur l'architecture de système du véhicule portaient surtout sur les besoins au niveau commande. Après l'intégration du premier capteur télémétrique, il est devenu nécessaire d'étendre l'architecture de système au-delà de la fonction de commande du véhicule. On utilise beaucoup les «serveurs» pour la gestion des ressources système. Comme on le voit sur la figure 5, le _k2a_server produit une abstraction spécifique de la commande directe du véhicule, le _control_server est un contrôleur fondé sur les états pour la gestion des diverses demandes de mouvement du véhicule provenant surtout des niveaux supérieurs de la hiérarchie de commande, et le _slit_server assure une interface commode avec les autres tâches nécessitant les données de distance du scanner.

Figure 5. La configuration de tâches du système comprend maintenant trois serveurs et un certain nombres de tâches immédiates qui relaient et peuvent traiter l'information entre les serveurs.



Un aspect plus fondamental encore est que le système est piloté par les événements, ce qui signifie que, par exemple, lorsque le _k2a_server reconnaît un changement de mode du véhicule (marche, arrêt, pilotage, etc.) ou peut-être une condition d'erreur locale, cet événement est acheminé automatiquement au _control_server qui utilise cette information pour remettre à jour l'état du système. Ce changement d'état influe sur la manière dont une commande est traitée et peut aussi déclencher une instruction mémorisée qui attendait que cet état se produise.

Pour implanter ces fonctions, le mécanisme de raccord des serveurs à Harmony a été modifié de manière qu'une tâche puisse maintenant ouvrir un des trois types de connexions avec le serveur. Cette structure est extensible. Les nouveaux capteurs éventuellement mis au point pourront être intégrés à cette architecture de manière complémentaire en utilisant le même mécanisme d'événements. De plus, les futures applications de cartographie de haut niveau qui utiliseront les capteurs télémétriques ne nuiront pas à cette structure.

Capteur télémétrique laser

D.A. Green, R. Liscano

Au cours de l'année écoulée, nous avons poursuivi nos travaux sur le développement d'un capteur laser télémétrique actif sur carte. Le scanner à fente, qui produit des données de distance par triangulation, a déjà été décrit. Cette année, ce dispositif a été intégré expérimentalement à l'architecture multiprocesseur avec du nouveau matériel expérimental et un serveur Harmony. Le _slit_server relie le capteur au système Harmony du temps d'exécution. Le mécanisme d'entraînement du scanner a été remplacé par un entraînement robuste à cames réciproques et les dispositifs laser optiques ont été améliorés de manière à obtenir de meilleures caractéristiques des signaux. En plus de produire des données de distance, le serveur produit aussi des messages destinés au _control_server qui le préviennent d'une collision potentielle plus loin. En prévision des exigences futures liées au serveur, il a été décidé d'intégrer les données de position du véhicule au _slit_server afin de permettre le recours aux applications de cartographie. Finalement, certaines expériences préliminaires ont été réalisées sur l'interprétation des données de distance obtenues par ce dispositif. Ces

travaux ont surtout porté sur l'extraction de périmètres d'objets des données brutes, aux fins de détection et d'évitement des obstacles.

Vision stéréoscopique

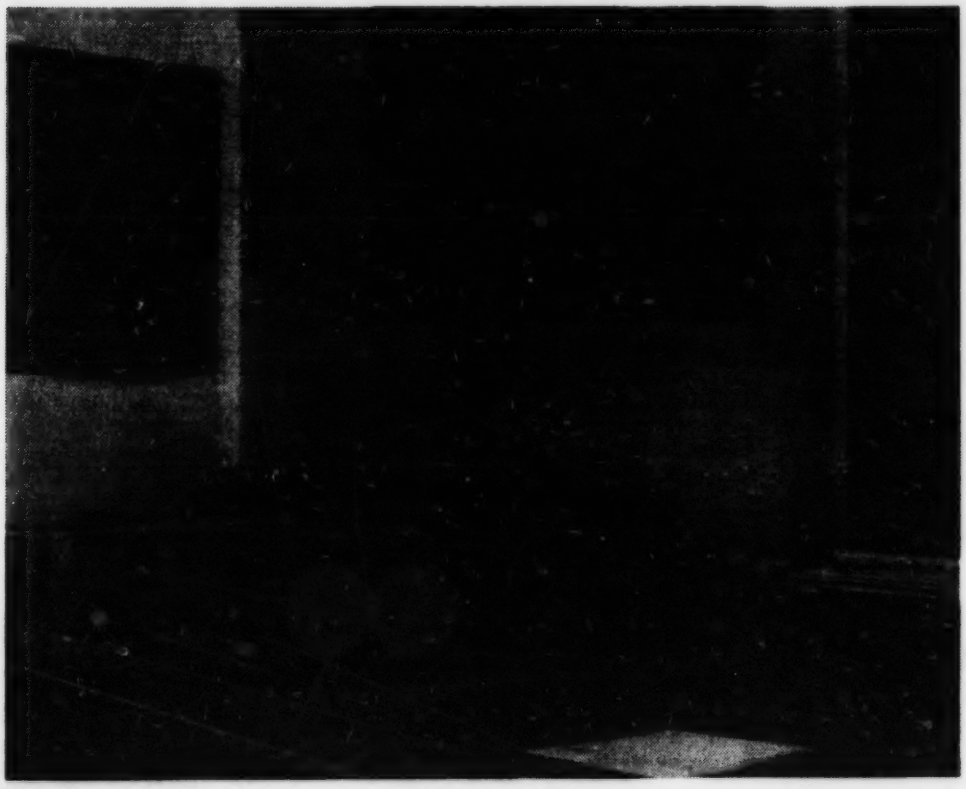
S.H.Y. Hung

On étudie le recours à la vision stéréoscopique comme l'un des capteurs possibles du robot mobile. Le principal objectif du projet est l'extraction des données de distance et la démonstration de son utilité dans l'interprétation de l'environnement pour la navigation du robot mobile.

Deux caméras compactes DTC à objectif 16 mm ont servi à la production d'images d'une scène d'un bureau ordinaire aux fins de nos expériences. Chaque image est numérisée en 480 pixels x 640 pixels de 256 niveaux de gris. Deux approches ont été appliquées pour le traitement de ces images en vue de l'obtention des données 3D. L'objectif n'est pas de produire une description détaillée de l'environnement, mais d'élaborer une méthode rapide pour déterminer l'espace libre pour la navigation du robot mobile.

La première approche passe par l'établissement de correspondances point à point entre les points de bords correspondant aux lignes de balayage. Les données 3D produites sont enregistrées avec l'image main droite et sont converties dans le système de coordonnées global. Le résultat est mémorisé sous forme de jeu de données 3D et peut être observé sous n'importe quel angle. Cette approche établit la correspondance avec la plupart des lignes presque verticales extraites par le détecteur de bords, avec une assez bonne exactitude. La combinaison de tous les points appariés produit une esquisse tridimensionnelle de la scène réelle dans la zone couverte par la paire d'images. Les résultats d'une série de paires stéréoscopiques adjacentes peuvent être combinés de manière à couvrir une surface plus vaste.

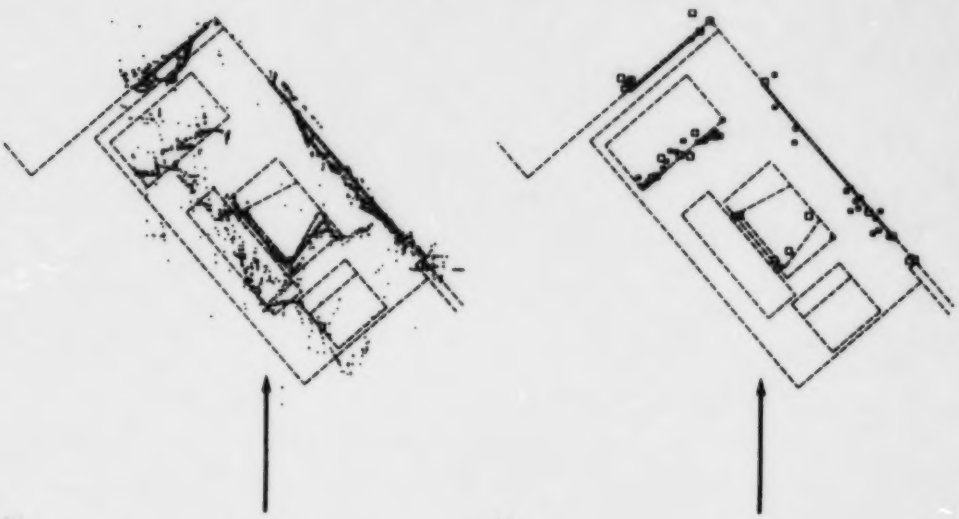
La deuxième approche consiste à comparer les bords extraits des deux images. La correspondance ne s'applique qu'aux bords dont la longueur dépasse un seuil pré-établi. Les informations 3D résultantes servent à produire la carte de l'espace pouvant être occupé.



(a)

Figure 6. Extraction des données de distance par calcul stéréoscopique : (a) Image réelle de la scène; (b) Données de distance par appariement point à point des bords; (c) Données de distance par appariement entre les bords verticaux extraits. Le tracé des données de distance est superposé au plan de la pièce.

Figure 6. Suite et fin.



(b) *(c)*

La figure 6 compare les deux approches. La figure 6(a) est l'image d'une partie d'un bureau. La figure 6(b) montre d'en haut les données de distance de tous les points appariés obtenus par la première approche. La figure 6(c) correspond aux données de distance extraites par la première approche et montre tous les bords presque verticaux dont la longueur dépasse 20 pixels; la taille du carré reflète la longueur des bords. La première étape de l'interprétation de ces données consiste à identifier les caractéristiques de bords qui correspondent au plan de la pièce. On étudiera ensuite le recours par le robot à ces informations pour établir sa position dans l'environnement.

Nous avons mis sur pied un projet de collaboration avec l'ICTI sur l'intégration des données d'environnement en vue de l'amélioration de la procédure de correspondance en vision artificielle. Cette collaboration permettra probablement de réduire les défauts de correspondance possibles, ce qui produira de meilleures données 3D pour interprétation dans les étapes ultérieures.

Mémoires récents

Publiés

Archibald, C., et Amid, S. Calibration of wrist-mounted range profile scanner. Proceedings of Vision Interface '89, London (Ont.). 19–23 juin 1989. pp. 24–28. CNRC 30182.

Archibald, C., et Merritt, C. Wrist-mounted range profile scanners and applications. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston (Ont.). 8–11 août 1989. Sous presse. CNRC 30600.

Archibald, C., et Merritt, C. Pose determination of known objects from sparse range images. Proceedings of the 2nd Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, Pays-Bas. Decembre 1989. Vol. 1, pp. 185–195. CNRC 30749.

Elgazzar, S., Liscano, R., et Green, D. Realtime control of autonomous robots using the Harmony Operating System. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston (Ont.). 8–11 août 1989. Sous presse. CNRC 30568.

Evans, K.B. Head mounted displays for telepresence and workstations. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston (Ont.). 8–11 août 1989. Sous presse. CNRC 30572.

Evans, K.B., et Shepertycki, T.H. Graphic task programming for robots in unstructured environments. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston (Ont.). 8–11 août 1989. Sous presse. CNRC 30536.

Evans, K.B., et Shepertycki, T.H. Task programming environment for robotic assembly. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Montréal (Qué.). 17–20 septembre 1989. pp. 195–198. CNRC 30537.

Gentleman, W.M. Managing configurability in multi-installation realtime programs. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Vancouver (C.-B.). 3–4 novembre 1988. pp. 823–827. CNRC 30632. (Invité.). *Publié comme* CNRC/ERB-1024 novembre 1989. 7 pages. CNRC 30938.

Gentleman, W.M. Realtime applications: multiprocessors in Harmony. CNRC/ERB-1011 août 1989. 10 pages. CNRC 30692.

Gentleman, W.M., MacKay, S., Stewart, D., et Wein, M. Commercial realtime software needs different configuration management. Proceedings of 2nd International Workshop on Software Configuration Management (SCM), Princeton (NJ). 24–27 octobre 1989. *Publié dans* Software Eng. Notes, 17(7): 152–161; 1989. CNRC 30695. *Publié comme* CNRC/ERB-1025, novembre 1989. 11 pages. CNRC 30939.

Green, D., Liscano, R., et Wein, M. Real-time control of an autonomous mobile robot using the Harmony Operating System. Proceedings of the Fourth IEEE International Symposium on Intelligent Control, Albany (NY). 24–26 1989. pp. 374–378. CNRC 30554.

Hung, S.H.Y. A description of the environment from the data of stereo vision assisted by a single sonar sensor. Proceedings of the International Workshop on Sensorial Integration for Industrial Robots: Architectures & Applications, Zaragoza, Espagne. 22–24 novembre 1989. pp. 291–299. CNRC 30888.

Kelley, J.V., Booth, K.S., et Wein, M. Design experience with a multiprocessor window system architecture. Proceedings of Graphics Interface '89, London (Ont.). 19–23 juin 1989. pp. 62–69. CNRC 30286.

Liscano, R., et Green, D. Design and implementation of a trajectory generator for an indoor mobile robot. Proceedings of the IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems '89, Tsukuba, Japon. 4–6 septembre 1989. pp. 380–385. CNRC 30452.

Nickerson, S.B., Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., et Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Montréal (Qué.). 17–20 septembre 1989. pp. 49–52. CNRC 31292.

Nickerson, S.B., Camacho, F., Mader, D.L., Milios, E.E., Jenkin, M.R.M., Bains, N., Braun, P., Green, D., Hung, S., Korba, L., Lang, S., et Liscano, R. Active vision navigation of a mobile robot in a known environment. Proceedings of the Second Workshop on Military Robotic Applications, Kingston (Ont.). 8–11 août 1989. Sous presse. CNRC 31293.

Roth, G., et Levine, M.D. Range image segmentation based on differential geometry and refined by relaxation labeling. Proceedings of Vision Interface '89, London (Ont.). 19–23 juin 1989. pp. 10–15. CNRC 30287.

Roth, G., O'Hara, D., et Levine, M.D. A holdsite method for parts acquisition using a laser rangefinder mounted on a robot wrist. J. Robot. Syst. 6(5): 573–599; 1989. CNRC 31283.

Stewart, D.A., et MacKay, S.A. (Rédacteurs). Harmony Application Notes (Release 3.0). CNRC/ERA-378, février 1989. 82 pages. CNRC 30082.

Venkatesan, S., et Archibald, C. Three degree of freedom tracking in real time using a wrist-mounted laser range finder. Proceedings of the 2nd Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, Pays-Bas. Vol. 1, pp. 386–392. 1989. CNRC 30886.

Présentés

Archibald, C. Sensor based robotics at NRC. Remote Manipulator Systems Division, Spar Aerospace Ltd., Weston (Ont.). 23 mars 1990.

Archibald, C., et Merritt, C. Wrist-mounted range profile scanners and applications. Range Image Understanding Workshop, London (Ont.). 19 juin 1989.

Burtnyk, N. Towards autonomous capability for the SPDM. CASI Symposium on Space Station, Ottawa (Ont.). 8–9 novembre 1989.

Gentleman, W.M. Hypercard. CRAD High Order Language Meeting, Quartier-général de la défense nationale, Ottawa (Ont.). 10–11 mai 1989.

Gentleman, W.M., et Feldman, S.I. Portability — a no longer solved problem. CRAD High Order Language Meeting, Quartier-général de la défense nationale, Ottawa (Ont.). 10–11 mai 1989.

Green, D., et Liscano, R. Technical aspects of the mobile robot project. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 27 mars 1990.

Hung, S.H.Y. Stereo vision for the navigation of mobile robots. L'Institut canadien de technologie industrielle, Conseil national de recherches du Canada, Winnipeg (Man.). 4 août 1989.

Section de recherches en informatique

Chef — J.W. Brahan

Introduction

La Section de recherches en informatique effectue de la recherche et du développement dans le domaine de l'intelligence artificielle appliquée, en particulier en ce qui a trait aux systèmes à base de connaissances. Les projets qui constituent le programme de la Section visent la mise au point d'outils et de méthodes pour les systèmes à base de connaissances et leur application en fonction de besoins reconnus. L'accent est mis sur la collaboration avec d'autres centres de recherche, au CNRC et ailleurs. La Section collabore actuellement avec le Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie à la mise au point d'un système expert pour protéger le matériel électronique contre le brouillage électromagnétique et avec le Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique à l'application de systèmes experts au contrôle de l'état des moteurs. La Section compte parmi ses collaborateurs de l'extérieur l'Université Laval, l'Université de Leeds, les Systèmes XA Inc., Price Waterhouse (le Groupe des systèmes informatiques du Québec), MPB Technologies Inc., le Centre de technologie Noranda et le ministère de la Défense nationale. Les travaux de la Section portent sur quatre grands projets : les systèmes à base de connaissances, les conseillers intelligents, les systèmes experts en temps réel et le suivi de l'état des moteurs.

Systèmes à base de connaissances

W.H. Henneker, S. Abu-Hakima, J.W. Brahan, L.J. Buck, H.I. El-Zorkany, A. Famili, B. Farley, R.A. Orchard, P.D. Turney

Le projet des systèmes à base de connaissances s'inscrit dans le programme du CNRC en intelligence artificielle appliquée sous la forme d'une gamme d'éléments qui comprennent la fourniture des ressources en informatique nécessaires pour une variétés de projets sur la représentation, l'acquisition et l'application de connaissances, l'établissement de facilités d'acquisition et de maintien du contenu des systèmes à base de connaissances, et l'établissement de facilités d'interface entre les utilisateurs et les systèmes experts.

Réseau de postes de travail Sun

W.H. Henneker

Le réseau de postes de travail Sun a été agrandi par l'addition d'un Sun-4/280 (32 Mo de mémoire et 1784 Mo d'espace disque) et de quatre systèmes SPARCstation-1 (chacun possédant un minimum de 8 Mo de mémoire et 208 Mo d'espace disque local). Le Sun-4/280 agit dans le réseau comme node de service de fichiers dans lequel tous les répertoires des utilisateurs et tous les autres logiciels sont situés. Son acquisition a résolu les problèmes concernant la répartition de l'espace disque.

Le réseau tel que conçu au départ s'est avéré efficace. Il est extensible, de nouveaux postes de travail pouvant être facilement ajoutés à la configuration actuelle. Cela a été récemment démontré par l'addition dans le réseau d'un Sun-3/110 et de deux postes de travail SPARCstation-1 du Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie. Le réseau est souple dans ce sens qu'il accepte des composantes de poste de travail de plusieurs fabricants. Le personnel du Laboratoire a mené des essais de référence sur un poste de travail de Digital Equipment Corporation basé sur le logiciel TCP/IP qui a été ajouté au réseau pendant une courte période.

Pendant cette période, le CNRC a assuré la liaison entre Ottawa et Onet (réseau ontarien, comparable à l'Internet de l'ARPA, qui relie un certain nombre des Centres de recherches en informatique du Programme d'excellence). Cette liaison, ajoutée à la mise en place réussie du logiciel SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) dans le système VM/CMS de la Division d'informatique a permis de doter le personnel de la Section d'un système de courier électronique opérationnel.

Apprentissage automatique

J.W. Brahan, A. Famili, P.D. Turney

IMAFO (Intelligent MAnufacturing FOreman), un système de supervision intelligent capable de contrôler l'exécution de plans dans un milieu industriel de planification de processus et d'analyser et d'expliquer les carences des plans, a été conçu et mis en ouevre. Il est essentiellement destiné à des milieux industriels où la planification et la prise de décisions se font hiérarchiquement, et convient à des niveaux de planification et de prise de décisions où les ordres sont ni trop explicites, ni trop abstraits (comme le niveau de la cellule de travail dans un milieu de fabrication).

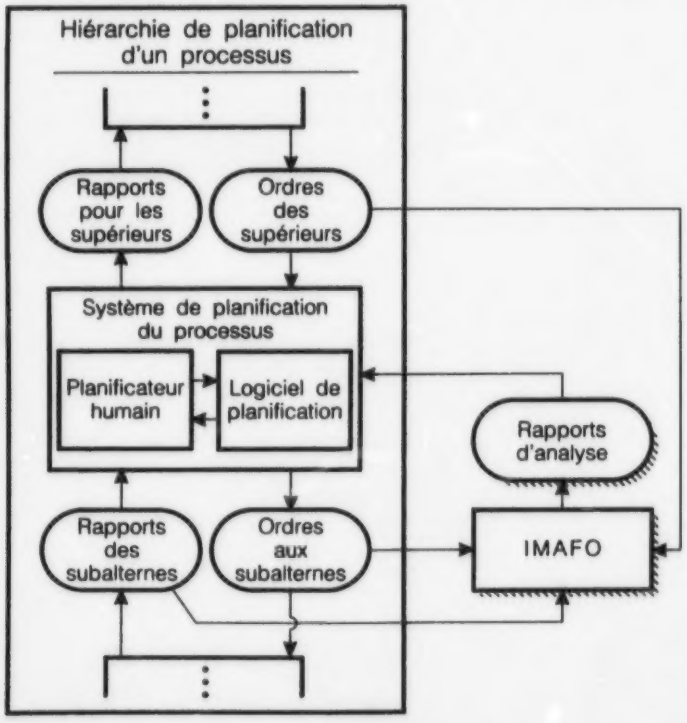
IMAFO est alimenté par des observations se composant d'ordres de haut niveau (ordres

donnés à une cellule de travail), d'ordres de bas niveau (ordres donnés par un contrôleur de cellule de travail) et de résultats d'exécution (information représentant les résultats de l'exécution des ordres de bas niveau). IMAFO analyse ces données et résume ses résultats concernant les plans avortés. Les planificateurs de processus industriels peuvent utiliser ce résumé pour parfaire des plans futurs. La figure 1 illustre l'interaction entre IMAFO et un niveau de la hiérarchie de la planification des procédés.

La version 0.3 d'IMAFO, rédigée en ART et en LISP, a été éprouvée et évaluée. Cette version a analysé des plans de processus et les résultats de l'exécution des plans. Elle a décelé des différences entre les plans et les résultats, et a produit une analyse statistique fondamentale. À partir des leçons tirées de cette expérience, la version 0.4 d'IMAFO a été conçue et mise en oeuvre.

La version 0.4 d'IMAFO est entièrement rédigée en LISP et fonctionne sur un poste de travail Sun. L'âme de cette version est un algorithme d'apprentissage automatique qui construit par induction des arbres de décision. Une caractéristique importante est la souplesse disponible pour définir les données d'entrée et le type d'analyse requis. En outre, IMAFO offre des moyens pour analyser la performance de différents ensembles d'attributs de processus complexes. Ces moyens peuvent être utiles pour optimiser la planification des processus.

Figure 1. Interaction entre IMAFO et un niveau dans la hiérarchie de planification des processus.



La capacité d'IMAFO d'apprendre à partir de plans avortés est actuellement éprouvée et évaluée à l'aide de données produites par un simulateur de procédé. Le but est d'étudier la possibilité d'intégrer IMAFO dans un milieu de planification de processus réel. La figure 2 illustre l'interface et montre un exemple des résultats d'IMAFO.

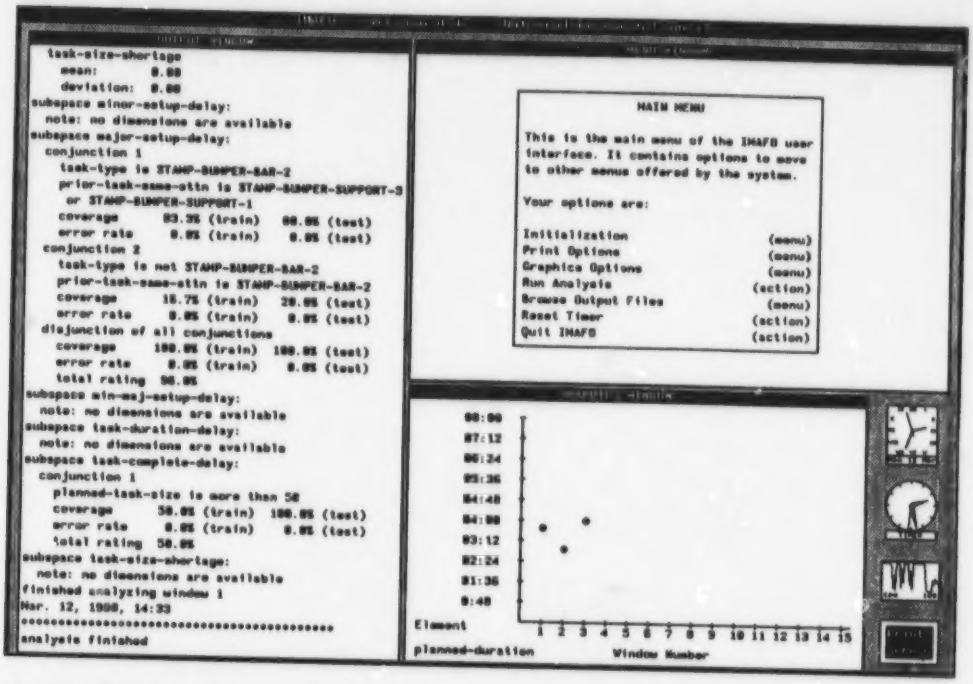
L'application des techniques d'apprentissage par observation à l'analyse criminelle est étudiée. Des échantillons de données sur des vols par effraction dans des résidences ont été fournis par le Service de police d'Ottawa. Deux paradigmes principaux ont été examinés jusqu'à ce jour; DUCE, basé sur la logique formelle, identifie les notions par simplification de la description logique des éléments qui constituent l'ensemble; UNIMEM est une approche orientée mémoire qui exploite le renforcement positif et négatif pour repérer les noeuds d'éléments apparentés. Les premiers résultats indiquent que des structures significatives peuvent être déduites des données. L'effet du bruit sur les résultats a été réduit par filtrage initial des données pour en éliminer les événements isolés. Les attributs ont été prétraités pour éviter de fausser les résultats à cause du chevauchement de l'information. Même si les résultats de DUCE et d'UNIMEM sont prometteurs, il a été impossible d'obtenir le niveau de détail désiré dans l'identification de formes, de sorte qu'une approche de bas en haut a été examinée. Cette dernière permet d'identifier dans la base de données des incidents qui ressemblent à un incident cible. Des poids peuvent être attribués à chacun des attributs et un degré de correspondance peut être précisé. Cette technique a été appliquée aux données de vols par effraction dans des résidences et s'est avérée efficace pour identifier des groupes d'incidents similaires. Le prototype est en voie d'être adapté à d'autres types de crimes consignés dans la base de données, et le Service de police d'Ottawa prévoit expérimenter le système au milieu de 1990.

Interface en langage naturel pour un système expert-tuteur

B. Farley

Une grammaire formelle logique pour la langue française a été définie, d'après le formalisme de la grammaire logique modulaire (MLG) de Michael McCord. Les formes usuelles des

Figure 2. L'interface et la sortie IMAFO.



phrases affirmatives et interrogatives sont maintenant couvertes dans cette grammaire. Un analyseur syntaxique basé sur celle-ci a été implanté en Prolog. Il analyse une phrase française écrite, on étudie la structure syntaxique et produit une interprétation sémantique de cette phrase sous la forme d'une expression logique. Une composante importante de ce parseur est l'analyse des verbes : nous avons mis au point un programme logique pour effectuer l'analyse morphologique des verbes français. Avec ce programme, on peut traiter n'importe quel des quelque 12 000 verbes de la langue française, quels que soient le mode, le temps, la personne. Une sous-programme particulier s'occupe spécifiquement des verbes irréguliers du troisième groupe.

Cet analyseur est la pierre d'assise d'une interface en langage naturel que nous avons commencé à developper pour les systèmes experts tuteurs TRILOGY. Dans un premier temps, lors de la création des systèmes experts tuteurs, les expressions en langage naturel des conditions et des conséquences des bases de règles sont analysées, et leurs représentations sémantiques sont stockées. Dans un second temps, lors de l'utilisation de ces systèmes, les questions et requêtes des utilisateurs sont analysées, et leurs représentations sémantiques sont traitées pour tenter de mettre en évidence un lien entre elles et celles qui ont été stockées et qui représentent les connaissances des systèmes. Le mécanisme de raisonnement permettant de relier la requête d'un utilisateur au concept pertinent de la base de règle est en cours d'études et n'a pas encore été implanté.

L'analyseur, d'abord implanté en Arity/Prolog sur PC, a été transporté sur Sun et tourne aussi maintenant en BIMprolog et en Quintus Prolog. Les prédicats (fonctions) qui diffèrent d'une version à l'autre ont été identifiés et les appels à ces prédicats remplacés par des appels à des prédicats généraux définis dans un fichier spécial, selon la version de prolog. Ainsi, l'analyseur est virtuellement «indépendant de la version». Son développement se poursuit donc maintenant concurremment sur les deux ordinateurs dans les trois versions de Prolog.

Questions ergonomiques dans les systèmes experts

L.J. Buck

Un système expert est conçu pour être exploité et utilisé par une personne. Aussi élégant et impressionnant que soit son fonctionnement comme dispositif créé par l'homme, il sera sous-utilisé (et ne sera peut-être pas utilisé du tout) s'il ne permet pas à l'utilisateur de mener sa tâche à bien, de façon sûre et efficace. Cela signifie que le système doit être conçu en fonction de l'utilisateur, de sorte qu'il soit adapté

à ses besoins plutôt que l'inverse. L'objet principal de la question repose dans la conception de l'interface utilisateur–système qui doit permettre de communiquer rapidement de l'information exacte dans les deux sens, sous la forme de données affichées à l'utilisateur et d'instructions au système. De manière plus générale, la question exige toutefois qu'on étudie comment le système s'inscrit dans l'ensemble de l'environnement physique, psychologique et social de l'utilisateur. La question est examinée en profondeur dans le contexte des systèmes experts en temps réel dans un article intitulé «Human Operator and Real-time Expert Systems».

Outils d'interface utilisateur

S. Abu-Hakima, W.H. Henneker

La version 1.3 de GoodNeWS/HyperNeWS a été mise en place à la suite d'une collaboration continue avec l'Institut Turing. La Section s'est offerte comme site d'essai bêta pour ce logiciel, et le personnel convertit les programmes élaborés avec les versions antérieures dans le but de vérifier les possibilités de la version actuelle.

Le module de consultation des connaissances et l'interface GoodNeWS/HyperNeWS–RATIONALE ont été complétés au début de la présente année financière. La première phase du conseiller sur la protection contre le brouillage électromagnétique s'est terminée par la démonstration concluante d'un prototype. Des fonds pour la deuxième phase de ce projet de collaboration (avec le Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie) ont été obtenus. Les travaux de cette phase comprennent la mise en oeuvre d'un outil de modélisation des systèmes électromagnétiques qui exige l'interfaçage d'un outil graphique avec l'algorithme de propagation des contraintes. L'outil de dessin intelligent est mis en place dans GoodNeWS/HyperNeWS 1.3, tandis que l'algorithme de propagation des contraintes se fait dans Quintus Prolog.

GoodNeWS/HyperNeWS a été choisi comme interface pour la mise en oeuvre d'un prototype de module de consultation d'hypertextes applicable à la documentation continue (pages de manuel) qui réside dans le réseau des postes de travail Sun. Le prototype explore des questions telles que la fragmentation de texte linéaire existant en noeuds d'information de base qui s'insèreront dans une fenêtre d'hypertexte, la création d'index des sujets de la documentation et la récupération d'information dans les 1700 pages de texte. Le prototype est maintenant au point. Une évaluation du prototype par un étudiant en stage d'été qui l'utiliserait comme outil pour l'apprentissage d'UNIX a été proposée.

Systèmes conseillers intelligents

J.W. Brahan, A.J. Craddock, B. Farley, R.A. Orchard, A.T. Parent, C.S. Phan, M.-M. Boulet,[1] D. Pascot,[2] R. Hartley,[3] A. Cole,[3] R. Pilkington,[3] Q. Hasson[3]

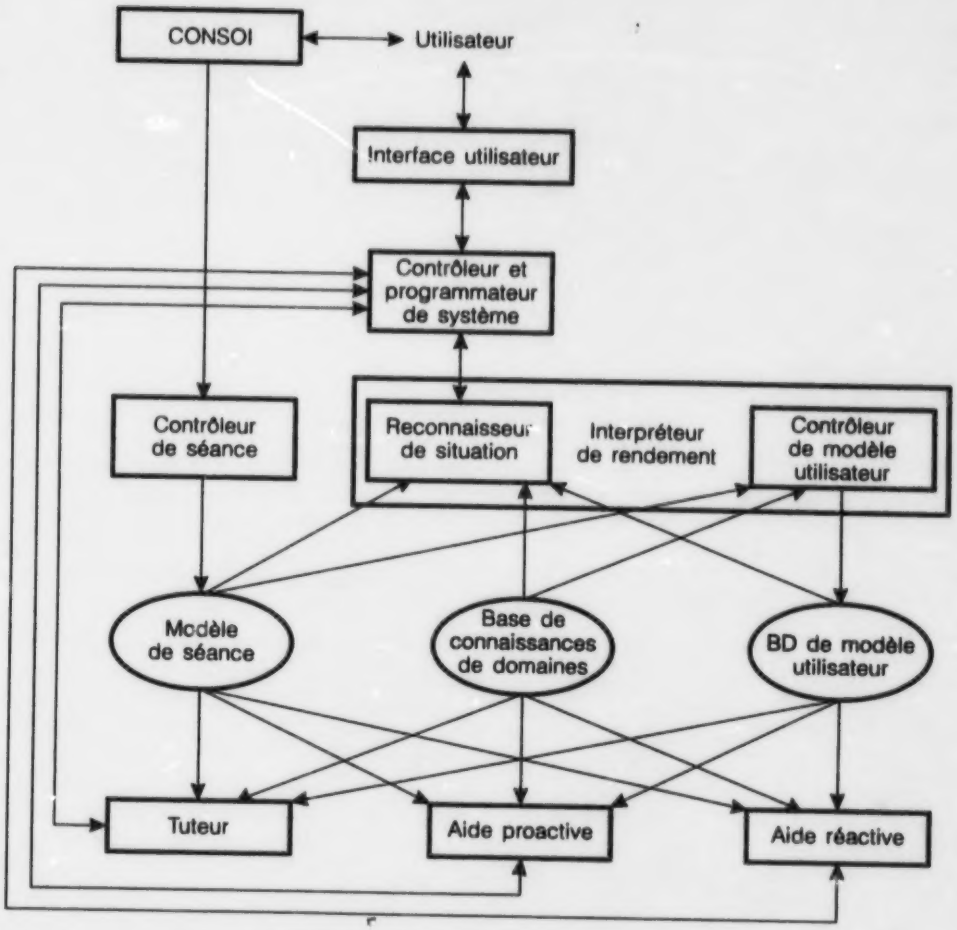
L'utilisation d'un «conseiller intelligent» comme interface entre l'utilisateur et un système informatique interactif offre la possibilité d'initier le nouvel utilisateur au système et d'aider l'utilisateur intermédiaire et occasionnel à s'en servir, ainsi que l'utilisateur expérimenté dans des situations spéciales. Le CNRC, l'Université Laval, l'Université de Leeds, Price Waterhouse et Systèmes XA Inc. collaborent à l'identification et à la mise au point d'un logiciel générique de base qui peut prendre en charge la création et la mise en oeuvre de systèmes conseillers en général, ainsi que l'élaboration de méthodes d'application du système à des domaines et besoins d'utilisateur particuliers. La phase d'étude conceptuelle de la méthode de conception de la base de données a été identifiée comme le sujet de la démonstration de faisabilité, et l'outil de conception de bases de données Silverrun produit par Systèmes XA Inc. est le système cible. L'architecture fonctionnelle du conseiller est illustrée à la figure 3. Les travaux se poursuivent concernant les modules et le développement et l'analyse du contenu des modules.

Jusqu'ici, la plupart des travaux ont porté sur l'identification des principes de conception des bases de données, des protocoles questions d'utilisateur-réponses et la relation entre les questions des utilisateurs et les principes. La méthode de conception de bases de données conceptuelles a été divisée en quatre objectifs, chacun comportant des objectifs intermédiaires. Des explications ont été données pour chacun des objectifs intermédiaires et reliées dans une structure d'hypertexte dans la base de connaissances. Cette structure a été vérifiée dans un prototype préliminaire à l'Université Laval.

Des protocoles questions-réponses sont examinés à l'aide d'études de simulation. Silverrun-ERM a été modifié par Systèmes XA Inc. pour permettre une liaison sérielle avec un poste de travail Sun par laquelle un expert humain peut recevoir les questions d'un utilisateur et y répondre. Un cas comportant la production d'un modèle de base de données conceptuelles

[1] Travailleur invité.
[2] Systèmes XA Inc., Québec (Québec).
[3] Université de Leeds, Leeds, Royaume-Uni.

Figure 3. Architecture fonctionnelle du conseiller.



pour un système de gestion de rapports d'états non satisfaisants (RENS) a été défini et présenté à six sujets possédant des antécédents différents en modélisation de bases de données conceptuelles. Ces études de simulation produisent des données desquelles les paramètres du modèle utilisateur et du système d'aide sont tirés. Les études ont répertorié un ensemble de questions posées par les utilisateurs cibles et de réponses fournies par l'expert. Une analyse des protocoles qui consiste à élaborer une typologie des types de questions et des stratégies de réponse est en cours.

Une approche basée sur des cas a été proposée comme stratégie tutorielle. À cette fin, un solution d'expert a été produite pour le cas du système de gestion RENS. Le processus de conception a été représenté par une série d'états, et la transition d'un état à l'autre implique une décision basée sur un ou plusieurs principes. Pour chaque état identifié dans la solution, la décision appropriée est définie, et l'action résultant de cette décision est décrite. De cette façon, l'étudiant recevra des explications des principes selon les besoins dans le contexte du processus réel de conception.

Pour aider à construire un modèle conceptuel entités-relations de base de données et pour répondre aux diverses questions attendues des utilisateurs, le système Help devrait pouvoir en soi construire un tel modèle à partir d'une description des besoins/exigences de l'application réelle. Un tel système a été conçu, et un premier prototype réalisé à l'Université de Leeds. Le prototype a servi à construire un modèle conceptuel de base de données éducatives, et un essai de généralité a été mené au moyen d'une description narrative du cas du système de gestion RENS. Il en est résulté un modèle valide et complet presque identique à

celui construit indépendamment par un autre chercheur.

Le modèle utilisateur du système du Conseiller a été étudié par la mise au point d'un premier prototype. Il est conçu pour explorer la représentation des notions et des règles du domaine qui sont nécessaires pour maîtriser la conception d'une base de données conceptuelles et les paramètres utilisateurs susceptibles d'être nécessaires dans un dialogue éducatif. Le modèle utilisateur est piloté par une simulation limitée du système du Conseiller implanté dans Prolog. Trois fonctions sont incorporées : un service questions-réponses ou aide passive, un service de supervision, et un vérificateur de validité finale ou aide proactive.

L'animateur de la séance est chargé de contrôler les entrées de l'utilisateur pour tenir à jour une copie interne du modèle des données, permettant au Conseiller de «raisonner», et d'envoyer des messages à l'outil de conception cible pour demander d'apporter des changements au modèle de données. Une version préliminaire a été mis en place pour assurer l'interface entre l'outil de conception cible Silverrun-ERM et le Conseiller, qui ne peut actuellement recevoir que les messages de Silverrun. Les détails des modifications à apporter à Silverrun pour établir la communication dans l'autre sens sont à l'étude chez Systèmes XA Inc. Entretemps, le CNRC a mis au point un simulateur qui offre presque les mêmes possibilités que Silverrun quant à la modélisation des relations entre les entités et qui permettra de définir et de vérifier les modifications appropriées avant de les apporter réellement à Silverrun.

L'accès à la base des connaissances sur les domaines est assuré par un Module de consultation des connaissances. La connaissance des domaines qui couvre les notions et les capacités de modéliser des données sur les relations entre des entités est structurée dans une hiérarchie basée sur les théories de la psychologie de l'apprentissage. Les définitions et les descriptions de ces notions et capacités sont codées dans un style d'hypertexte. Cette pile d'hypertextes, qui peut être consultée par les modules du Conseiller, est mis en oeuvre dans une version augmentée du système Hyper-NeWS de l'institut Turing.

Suivi de l'état des moteurs

S. Abu-Hakima, P.L. Davidson, M.S. Halasz, C.S. Phan

L'entretien des moteurs d'aéronefs est une tâche complexe qui exige une intégration efficace de nombreuses sources d'information : manuels d'utilisation, rapports de pilote, indications d'instrument, réglages de moteur, observations, dossier de moteur, modèles de simulation et spécialistes du fabricant d'un moteur. La technologie basée sur les connaissances est utile dans ce milieu car le roulement parmi les techniciens crée une perte de compétence en entretien.

Les objectifs de l'Assistant en dépannage des réacteurs (JETA) sont de créer un milieu structuré pour le dépannage, d'automatiser les méthodes d'entretien dans les manuels d'utilisation des moteurs et de dégager les éléments heuristiques des techniciens expérimentés. L'algorithme de raisonnement de JETA se veut général et réutilisable pour d'autres équipements mécaniques complexes. Une interface utilisateur efficace offrant de nombreuses possibilités d'explication devrait permettre à tout technicien de comprendre le système. Le cadre de travail de JETA est souple et maintenable, conçu de manière à faciliter l'élicitation et la mise à jour des connaissances des domaines. Une telle mise à jour pourrait découler de modifications apportées aux moteurs, de nouvelles méthodes d'entretien et de nouvelles données de capteurs.

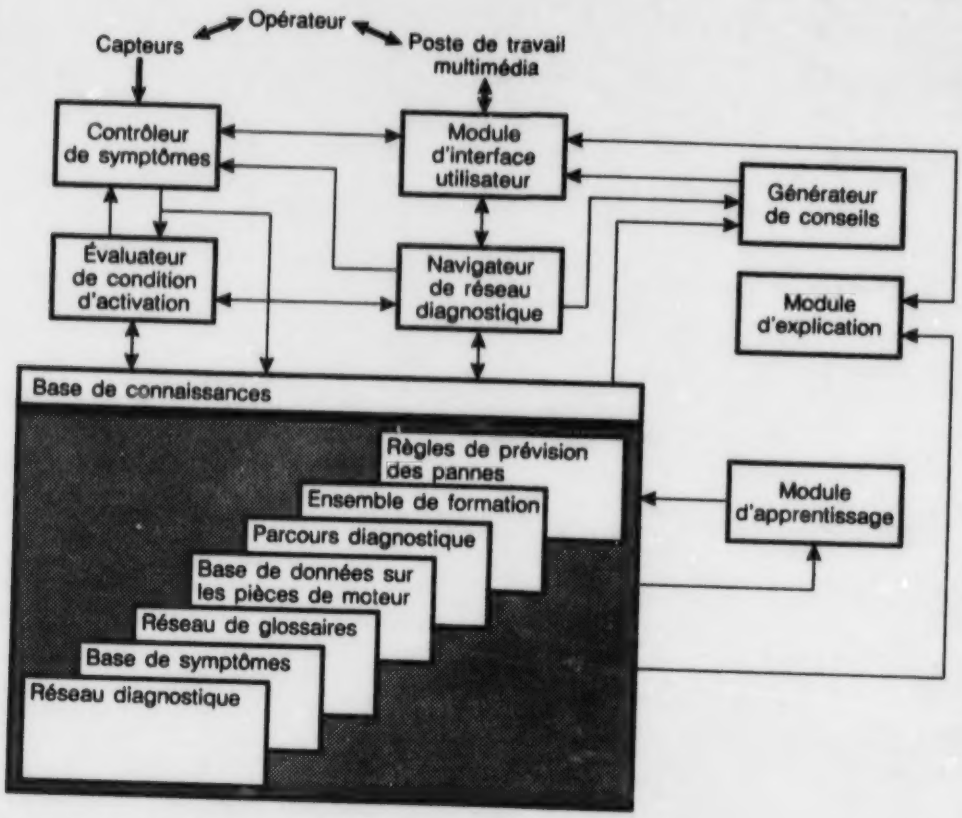
Le réacteur J85-CAN-15 de la Générale Électrique, qui a été choisi comme première application, constitue un défi en matière d'application des techniques d'IA. Il est composé de nombreux sous-systèmes interreliés qui ont été ajoutés et modifiés itérativement depuis son introduction. Les méthodes de dépannage de JETA reposent surtout sur des stratégies de techniciens directement accessibles au Laboratoire des moteurs de la Division de génie mécanique.

Description de JETA

Une description de l'architecture fonctionnelle du système est donnée à la figure 4. Elle fait ressortir la distinction entre la connaissance spécifique à un domaine et le milieu de dépannage. Le système comporte sept modules plus la base de connaissances. L'ajout de nouveaux domaines d'application ne modifie que la base de connaissances.

Dans une séance de diagnostic, le Navigateur du Réseau diagnostique (algorithme de raisonnement) parcourt le réseau diagnostique jusqu'à ce qu'un problème signalé soit corrigé. À chaque noeud diagnostique, le navigateur interprète des conditions codées pour choisir le prochain noeud vers lequel se diriger. Il met aussi à jour la Base de données sur les pièces de moteur, le Parcours diagnostique et l'Ensemble de formation. Le Contrôleur de symptômes vérifie

Figure 4. Architecture fonctionnelle de JETA.



des valeurs de symptôme, met à jour la Base de symptômes et actionne l'Évaluateur de conditions d'activation qui fixe l'état des noeuds selon le type d'activation. Dans la deuxième phase du projet, une composante d'échantillonnage des capteurs sera ajoutée pour assurer automatiquement la saisie en direct des données de contrôle de l'état des moteurs.

Le Générateur de conseils a comme rôle d'afficher du texte et des diagrammes en fonction du contexte. L'Interface utilisateur a été conçu pour être séparable, facilitant ainsi la portabilité du système vers d'autres postes de travail. Le Module d'explication donne des explications basées sur le Parcours diagnostique et le Réseau des noeuds diagnostiques, et permet à l'utilisateur de consulter des glossaires.

Le Module d'apprentissage accepte comme entrée un Ensemble de données de formation pour produire un ensemble de prévisions des pannes. Cette prévision des pannes est actuellement une activité indépendante. Des techniques d'apprentissage par les machines et des algorithmes statistiques basés sur la régression linéaire multiple sont appliqués à l'analyse de données de moteurs transitoires pour permettre l'interprétation des données sur les pannes recueillies par les capteurs fixés à un réacteur et poser des diagnostics de moteur.

Représentation des connaissances

La représentation des connaissances retenue pour JETA découle d'une analyse minutieuse des manuels et de discussions avec un technicien d'entretien expérimenté. Des cadres ont été préférés à des règles de production car ils font ressortir la structure sous-jacente de la connaissance d'un domaine. Cela diffère de la plupart des systèmes experts en dépannage de moteur d'aéronef actuels. La représentation des connaissances de JETA a servi à traiter les spécifications pour de nombreux aspects du projet.

Traditionnellement, les connaissances diagnostiques ont été représentées par un arbre de défaillance. S'appuyant sur quelques observations initiales, le raisonneur part d'une défaillance générale et parcourt l'arbre, raffinant

progressivement les hypothèses, jusqu'à ce que la cause d'un problème soit trouvée. Dans JETA, l'arbre de défaillance s'inscrit dans un réseau diagnostique plus grand, un graphe dirigé général, qui ne représente pas une vrai hiérarchie de défaillances car les noeuds sont le siège de décisions de dépannage complexes.

Interface utilisateur

L'interface utilisateur repose sur une approche multi-fenêtres qui permet à l'utilisateur de voir les fonctions pertinentes en tous temps (voir figure 5) et qui crée une «lecture» ordonnée tout en offrant une profondeur dans certains domaines de fonctionnalité des systèmes. À l'aide d'icônes, l'utilisateur peut voir des diagrammes pertinents à la ligne de raisonnement courante. Un répertoire d'images permet au système d'organiser, de stocker et de rappeler de grands ensembles de diagrammes. La première version de l'interface a été mise en oeuvre à l'aide du studio de ART (outil de raisonnement automatisé) et de Common LISP.

Explications

Les objectifs d'une explication humaine (clarifier l'intention, enseigner une notion et convaincre l'interlocuteur d'une stratégie choisie) peuvent être adoptés comme objectifs des explications de tout système basé sur des connaissances. Pour qu'une explication basée sur des connaissances soient réussie, le système doit pouvoir raisonner explicitement par rapport à ses connaissances. En raisonnant explicitement, il se donne des justifications ou des stratégies de raisonnement pour prendre ses décisions. L'explication est planifiée en fonction de la connaissance des stratégies de raisonnement en oeuvre. À cause de la connaissance explicite à chaque noeud, la création de l'explication devient en soi une tâche simple et peut être tirée directement du parcours diagnostique.

Les utilisateurs peuvent demander une explication en choisissant des questions à base de modèles dans des menus. Ces menus permettent aux utilisateurs de voir les questions dans le contexte courant et les guident dans le choix des questions qui peuvent être posées. Une interface multi-piles pour ces services d'explication est mise en oeuvre dans GoodNeWS/HyperNeWS.

Projets d'avenir

La première version de JETA, qui consiste en un réseau diagnostique d'environ 200 noeuds, a été éprouvée et examinée favorablement par de nombreux techniciens en aéronautique expérimentés. Dans la deuxième version, le nombre de noeuds passera à environ 500 et l'algorithme de raisonnement sera transporté dans un environnement de X-windows, permettant ainsi de réaliser une interface hypermédia. Des dispositions seront prises pour prévoir un raisonnement par cas et un couplage éventuel à un système de saisie des données. Un essai sur le terrain de 6 à 12 mois à la base des Forces canadiennes de Cold Lake, en Alberta, est prévu pour 1991 pour évaluer si le système est correct et acceptable.

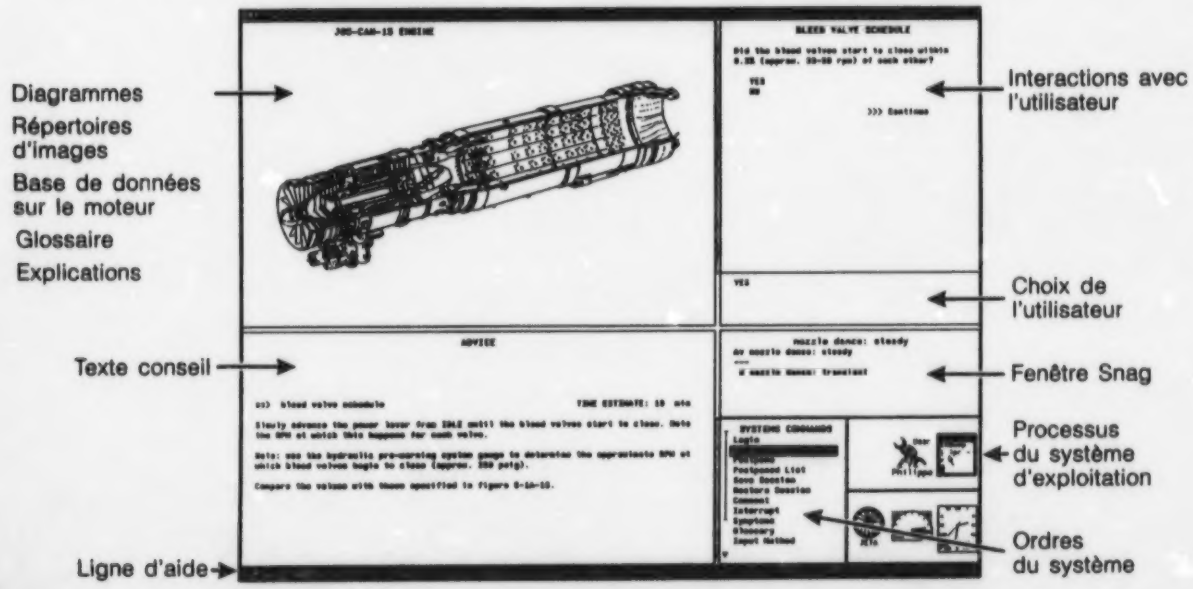


Figure 5. Présentation à l'écran.

Systèmes experts en temps réel

R.A. Orchard, J.W. Brahan, L.J. Buck, A.C. Diaz, Z.A. Sosnowski, G.M. Swinkels,[1] R.H. Wylie

L'activité principale de ce projet est de mettre au point la trousse d'outils ARTEMIS conçue pour aider à construire des systèmes experts en temps réel en mettant l'accent sur les applications de contrôle de processus. Le travail est fait en collaboration avec MPB Technologies Inc., Noranda Inc. et plusieurs universités. Une étude de faisabilité et un rapport ont été réalisés et présentés à PRECARN Associates Inc. en juin 1989, et PRECARN a ensuite approuvé le projet de cinq ans sous réserve de d'une garantie de financement.

ARTEMIS peut être considérée comme un système à trois niveaux avec des fonctions et des utilisateurs différents à chaque niveau. Le but ultime est le niveau d'application dans lequel ARTEMIS remplit des fonctions habituellement associées à l'opérateur d'un système de contrôle de processus. Les deux autres niveaux assurent un soutien à la mise au point de l'application fonctionnelle. Le tableau 1 compare certaines caractéristiques de chaque niveau.

Au niveau de l'application, ARTEMIS contrôle les variables du système et les indicateurs d'état; évalue la fonctionnalité des composantes du système; reconnaît les anormalités dans le fonctionnement du système et diagnostique la cause probable; produit des plans pour des situations spéciales; informe l'opérateur du rendement du système, de son état et des mesures à prendre en conséquence; et permet l'archivage de l'information sur le fonctionnement du système, nécessaire à sa remise en route et à l'analyse de son rendement.

Au niveau des domaines, où il s'agit de définir l'application, ARTEMIS incorpore la connaissance générale du domaine d'application et l'ingénieur en processus fournit les données pertinentes à l'application particulière. Dans ce mode, ARTEMIS fonctionne comme une «coquille» spécialisée dans un domaine particulier. L'interface est construite pour répondre aux exigences du spécialiste dans ce domaine.

Au niveau générique, ARTEMIS assure la conception. Il fournit une structure sur laquelle les deux autres niveaux sont construits, les mécanismes ou les outils fondamentaux utilisés pour représenter les connaissances sur l'usine comme entité matérielle, les buts, les actions, les événements et les plans, et les mécanismes fondamentaux de traitement de ces connaissances.

Les travaux dans le cadre de ce projet comprennent une étude sur place du processus de flottation aux Mines Brunswick, des études de systèmes de gestion des modèles pour modéliser des systèmes physiques, et la mise au point de prototypes de certaines composantes du milieu d'exécution. Comme le rôle de l'opérateur en contrôle de processus influe sur les objectifs du projet à certains égards, une analyse ergonomique préliminaire de la tâche d'un opérateur de cellule de flottation du zinc a été menée, et un rapport a été publié en annexe de l'étude de faisabilité.

Les études de systèmes de gestion des modèles a consisté à revoir la documentation sur les modèles de flottation actuels et la physique qualitative du phénomène, et à élaborer un plan de représentation des connaissances pour la mise au point de systèmes de contrôle de processus de niveau élevé. On a conclu que la meilleure solution serait un modèle qualitatif. On examine donc des techniques de modélisation qualitatives et on met au point des outils pour matérialiser le plan de représentation des connaissances proposé qui aideront l'ingénieur en processus à décrire le système à réguler.

La mise au point de prototypes de parties du milieu d'exécution consiste à étudier l'architecture de contrôle tableau noir comme contrôleur

Tableau 1. Comparaison des niveaux d'ARTEMIS.

Niveau d'ARTEMIS	Mode de fonctionnement	Utilisateur principal	Représentation des connaissances
Application	Application	Opérateur	Cas d'une usine spécifique
Domain	Spécification	Ingénieur en processus	Structure physical, fonctionnement physique
Générique	Conception	Cogniticien	Cadres et relations, buts, actions, événements, plans

[1] Division de génie mécanique.

possible du système et une logique floue pour traiter les données et connaissances incertaines et incomplètes, caractéristiques de l'application choisie.

Pour étudier l'architecture de contrôle tableau noir, la coquille CLIPS mise au point par la NASA a été augmentée et renommée BB_CLIPS. Les modifications de la syntaxe de CLIPS ont permis de définir des positions de tableau noir appropriées. Les extensions des règles de CLIPS et le gestionnaire d'agenda comportaient des caractéristiques particulières d'une architecture de contrôle tableau noir. Les modifications des fonctions de CLIPS ont permis l'exploitation de systèmes continus. D'autres modifications particulières à l'exemple de régulation de procédé mis en oeuvre (voir figure 6) comprenaient

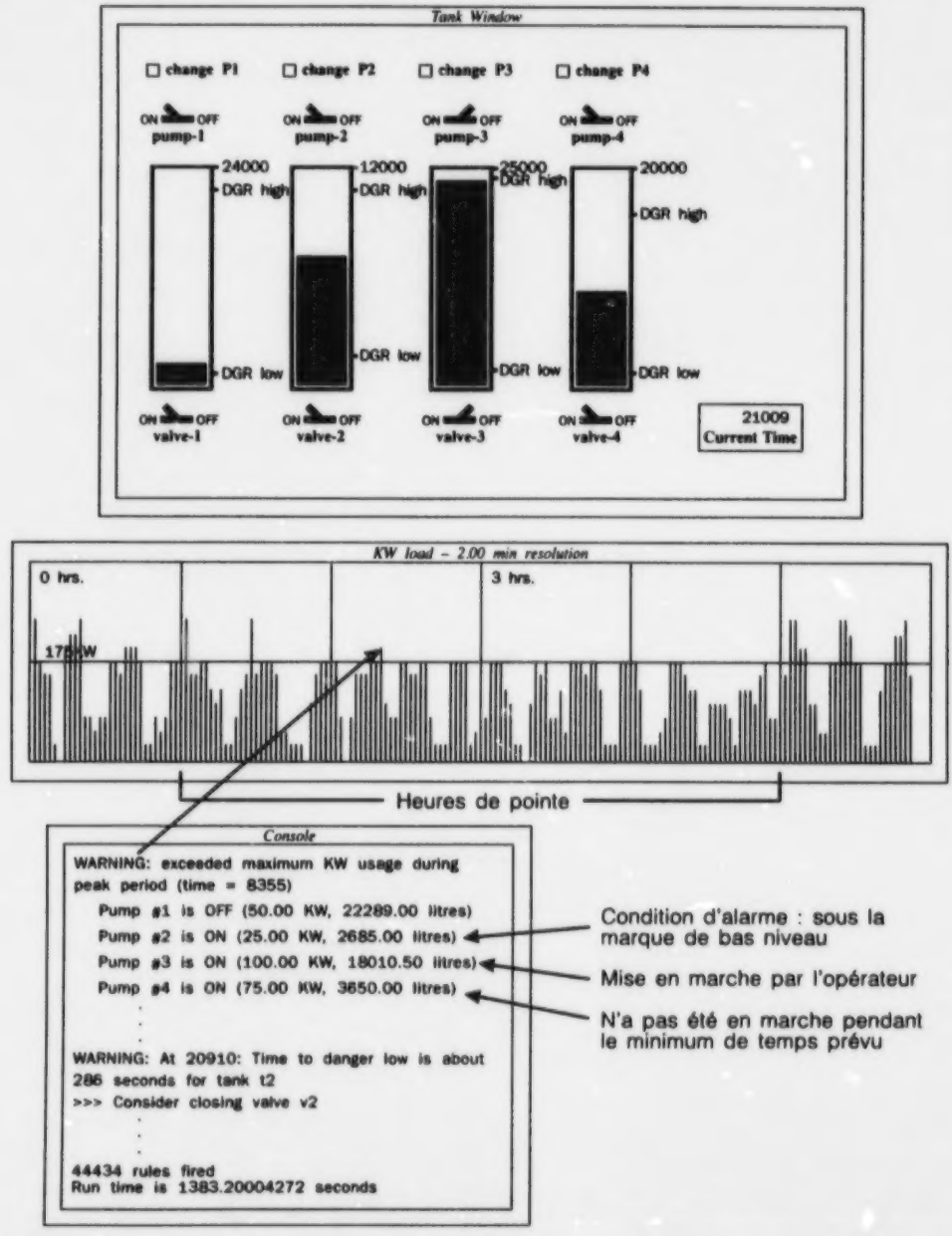


Figure 6. Exemple d'essai de l'interface utilisateur avec BB_CLIPS.

l'élaboration de sous-programmes C pour simuler des événements extérieurs et l'élaboration d'une interface pour le NeWS (Network-extensible Window Server) des microsystèmes Sun. L'application de ces modifications est facultative, et la programme CLIPS existants s'exécutent encore correctement. En outre, les modifications ont ajouté très peu au temps indirect d'exécution.

Les décisions à prendre dans le contrôle de processus reposent souvent sur des données incomplètes ou incertaines. Une étude est en cours sur l'utilisation de techniques telles que la logique floue pour traiter de cette question. Le travail consiste à augmenter CLIPS pour représenter et traiter des faits et des règles flous afin de mettre au point un outil de construction de systèmes experts qui peut utiliser des facteurs de certitude ou de confiance pour traiter l'incertitude dans les connaissances ou les données et manipuler des notions floues qui constituent une partie très importante d'une langage naturel. L'objectif est de construire un système qui permet de mélanger librement des termes flous et normaux dans ses règles et faits. La représentation du flou reposera sur la notion d'une variable linguistique (c.-à-d. une variable qui prend les valeurs non pas de nombres mais de mots ou de phrases d'un langage naturel ou formel). Le degré d'incertitude sera représenté par des nombres tranchants ou flous. L'inférence floue reposera sur la théorie des équations relationnelles floues et la règle de composition de l'inférence, qui est la généralisation de la règle du modus ponens.

Mémoires récents

Publiés

Abu-Hakima, S. A generic environment for constructing diagnostic hierarchies. Proceedings of the IJCAI-89 Workshop on Integrated Human–Machine Intelligence in Aerospace Systems, Detroit (MI). 21 août 1989. pp. 90–99. CNRC 30841.

Abu-Hakima, S., et van Hoff, A. An intelligent environment for developing knowledge-based applications. Proceedings of the IJCAI-89 Workshop on A New Generation of Intelligent Interfaces, Detroit (MI). 22 août 1989. pp. 1–11. CNRC 30842.

Abu-Hakima, S., Davidson, P., Halasz, M., et Phan, S. Jet engine technical advisor (JETA). Proceedings of the Second International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Tullahoma (TN). 6–9 juin 1989. pp. 154–160. CNRC 30109.

Boulet, M.-M., Brahan, J.W., Cole, A.J., Duchastel, P., Hartley, J.R., Orchard, R.A., Parent, A.T., Pilkington, R., et Phan, C.S. A design task advisor. Artificial Intelligence and Education, Proceedings of the 4th International Conference on AI and Education, Amsterdam, Pays-Bas. 24–26 mai 1989. *Edité par* D. Bierman, J. Breuker, et J. Sandberg. pp. 25–31. CNRC 30444.

Buck, L. Human operators and real-time expert systems. Expert Syst. 6(4): 227–236; Septembre 1989. CNRC 30453.

Buck, L., Hyde, F., Leonardo, R., et Rennick, R.J. Operating manual for the NRC tracometer system, Mark 8. CNRC/DGM/TR-SYS-022, Mars 1989. 79 pages. CNRC 30399.

Davidson, P.L., Halasz, M., Phan, S., et Abu-Hakima, S. Un système intelligent de consultation pour le diagnostic de machinerie. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Montréal (Qué.). 17–20 septembre 1989. pp. 142–145. CNRC 30447.

El-Zorkany, H.I. Knowledge based systems: a modelling perspective. Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference, Austin (TX). 24–27 juillet 1989. pp. 575–580. CNRC 30448.

El-Zorkany, H.I. On knowledge based systems/expert systems for diagnosis. Proceedings of the International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, Charlotte (NC). 12–14 octobre 1989. Sous presse. CNRC 30449.

Famili, A. Integrating learning and decision making in intelligent manufacturing systems. J. Intell. Robot. Syst. 3(2): 117–130; 1990. CNRC 29912.

Farley, B. Un interface en langage naturel pour les systèmes experts-tuteurs TRILOGY. Compte rendu du Congrès Canadien en génie électrique et informatique, Montréal (Qué.). 17–20 septembre 1989. pp. 1172–1175. CNRC 30864.

Turney, P.D. The architecture of complexity: a new blueprint. Synthese, 79(3): 515–542; 1989.

Présentés

Abu-Hakima, S. A diagnostic shell for trouble shooting jet engines. Proceedings of the First Diagnostic Expert Systems in Engine Health Monitoring Workshop of the Technical Cooperation Program Committee on Condition Monitoring and Diagnostics, NASA, Langley (VA). 12–13 juin 1989.

Abu-Hakima, S. Panel discussion, Constructing diagnostic hierarchies in RATIONALE. IJCAI-89 Workshop on Integrated Human–Machine Intelligence in Aerospace Systems, Detroit (MI). 21 août 1989.

Abu-Hakima, S. Intelligent interfaces: fiction or reality? AI Special Interest Group Seminar, Université Carleton, Ottawa (Ont.). 29 novembre 1989.

Abu-Hakima, S. A combined architecture for diagnosis: symbolic reasoning and neural networks. Neural Network Lecture, Université Carleton, Ottawa (Ont.). 13 décembre 1989.

Abu-Hakima, S. Reasoning by explaining. Seminaire d'apprentissage automatique, Université d'Ottawa, Ottawa (Ont.). 23 mars 1990.

Abu-Hakima, S., et LoVetri, J. An electromagnetic interaction modelling and shielding advisor. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 9 janvier 1990.

Brahan, J.W. L'intelligence artificielle et la formation technique. Les outils informatiques dans l'enseignement en sciences et génie, Université Laval, Québec (Qué.). 24–25 août 1989. (Invité.)

Famili, A. Application of machine learning for planning and decision making of intelligent manufacturing systems. AI in Manufacturing Workshops of the International Joint Conference on AI '89, Detroit (MI). 19–16 août 1989.

Turney, P. The stability of linears regression equations. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 2 octobre 1989.

Section photonique et capteurs

Chef — J. Domey

Introduction

Les activités de recherches de la Section photonique et capteurs portent sur le développement de systèmes de capteurs innovateurs essentiels à l'automatisation, en particulier sur les systèmes de vision tridimensionnelle (3D), le traitement optique de l'information et les capteurs optiques. L'automatisation industrielle est le but premier de nos activités, mais les techniques génériques développées ont trouvé des applications dans plusieurs domaines dont, par exemple, des capteurs pour l'aviation, le guidage de robots de soudage à l'arc, l'inspection de circuits imprimés et la reproduction d'objets tridimensionnels.

Les travaux de la dernière année ont permis de démontrer un capteur 3D opérant à un taux d'acquisition de 10 MHz, produisant des images 3D à une vitesse équivalente à une caméra vidéo soit 30 images par seconde. C'est la première fois qu'une caméra ayant de telles performances est démontrée. L'acquisition d'images 3D en utilisant un laser sécuritaire pour l'oeil a aussi été démontrée. Ceci rend possible l'usage des capteurs 3D à l'air libre et pour la mesure d'humains sans les risques pour la vue généralement associés aux lasers. Un projet d'analyse de la granularité laser en regard de nos capteurs 3D, entrepris en collaboration avec l'industrie, a permis de déterminer les facteurs pouvant réduire cet effet et augmenter la précision des capteurs. Un nouveau projet de caméra 3D à accès aléatoire a débuté en collaboration avec l'Agence spatiale canadienne et un autre, en collaboration avec l'Institut canadien de conservation, sur l'acquisition 3D et couleur en registre. Maintenant que des capteurs pouvant faire l'acquisition de données 3D de haute qualité sont disponibles, une plus grande emphase est placée sur le développement d'outils interactifs, algorithmes et traitement en temps réel des images 3D.

Les travaux sur le traitement et les capteurs optiques ont porté sur l'évaluation de matériaux optiques non linéaires, en particulier les absorbants saturables et les cristaux photoréfractifs et de certaines configurations optiques de traitement dans le but de concevoir des systèmes de traitement optiques de données temps réel.

[1] Travailleur invité.

Le transfert de la technologie du laser à fibre opérant à la longueur d'onde sécuritaire pour l'oeil de 1,5 µm est en cours. Le développement de capteurs optiques s'est continué dans le cadre de plusieurs collaborations avec l'industrie et des universités.

Vision 3D

Développement de capteurs de vision 3D

M. Rioux, F. Blais, J.-A. Béraldin, M.S. O'Sullivan, R. Baribeau,[1] J. Domey

Ces nouveaux capteurs, basés sur les technologies que nous avons brevetées, ont été développées en réponse à des besoins exprimés par l'industrie, en particulier nos détenteurs de licences, ou par des utilisateurs. Les performances innovatrices démontrées constituent un ensemble de technologies dont l'intégration permettra de réaliser des capteurs ouvrant de nouveaux marchés.

Caméra 3D à accès aléatoire

Un nouveau prototype a été conçu dans le cadre d'un projet avec l'Agence spatiale canadienne. L'objectif est de permettre l'automatisation de tâches de robotique spatiale tel l'accostage de satellites, l'assemblage ou les réparations sur la station spatiale. Dans ce contexte, le prototype prévoit l'usage de deux plages d'opération : une première à courte portée (1–5 m) opérant par triangulation; un deuxième à longue portée (5–2000 m) opérant par temps de parcours. Le concept de base de ce prototype de caméra 3D est d'utiliser la scène comme une mémoire et la caméra comme un système d'adressage à cette mémoire. L'avantage de cette approche est de pouvoir travailler en temps réel sur des images 3D de très haute définition. En effet, le pouvoir séparateur disponible à l'aide des galvanomètres est supérieur à 4000 x 4000 éléments. La géométrie de triangulation utilisée fait appel à la synchronisation des balayages, technique que nous avons brevetée et qui présente des avantages exclusifs tel le découplage entre la résolution en distance et l'angle de balayage. Pour ce prototype nous avons deux systèmes rapides de balayage pour les axes *x* et *y*. Deux miroirs montés sur des galvanomètres nous donnent des temps d'accès de l'ordre de quelques millisecondes.

Pour tirer avantage de cette configuration, nous avons développé des stratégies de recherche et de suivi utilisant trois modes d'opération : par point, par vecteur, par image. La démonstration des performances à courte portée est prévue au courant de l'année 1990.

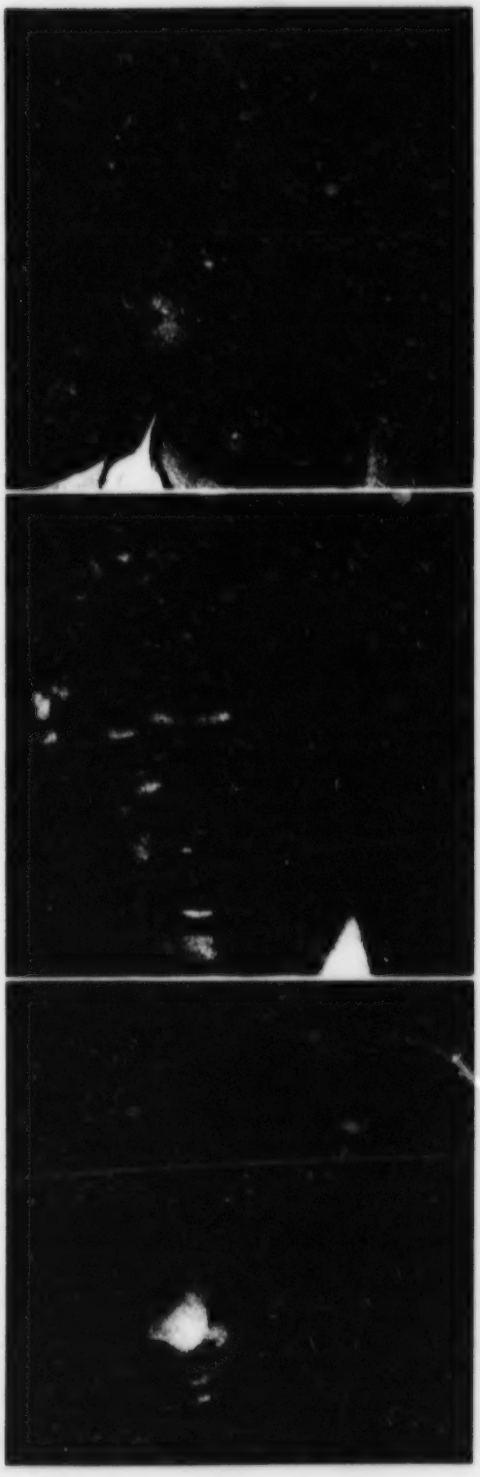


Figure 1. Résultats expérimentaux, (a) photographie conventionnelle du sujet, (b) intensité à 1,5 µm, (c) la forme 3D codée en niveaux de gris obtenue à 1,5 µm.

Caméra 3D sécuritaire pour les yeux

Une objection souvent apportée à l'usage de capteurs laser est le risque potentiel pour l'oeil, ce qui impose des mesures de sécurité augmentant les coûts. De façon à apporter une solution à ce problème un capteur 3D opérant à l'aide d'un laser sécuritaire pour l'oeil a été démontré, utilisant un détecteur de position sensible à 1,5 µm et un laser à fibre optique développé récemment dans la section et émettant à cette même longueur d'onde. Le détecteur de position est une diode à effet latéral dont la bande passante est de 7 MHz. Le laser émet une puissance de l'ordre de 70 mW. Le système de balayage nous permet d'obtenir une image 3D, constituée de 256 pixels × 256 pixels, en moins d'une seconde. La figure 1 nous montrent des résultats expérimentaux obtenus avec ce prototype. La puissance laser utilisée pour cet enregistrement est des trois ordres de grandeur inférieur au maximum permissible selon les normes de sécurité laser (ANSI Z-136).

Une analyse des résultats préliminaires indique qu'un fonctionnement à 1,5 µm a le potentiel de performances surprenantes. Simultanément on pourrait obtenir un grand volume de mesure (mètre cube), une grande définition (1000:1) et un taux d'échantillonnage très élevée (mégahertz). Cependant, de telles performances exigeront le développement de sources laser beaucoup plus puissantes à 1,5 µm (~10 W) que celle présentement disponible (~0,1 W).

Caméra 3D à taux vidéo

Le premier prototype d'une caméra 3D à taux vidéo, entièrement compatible avec la norme RS-170 de l'industrie, a été mise en service. Les spécifications de cette nouvelle caméra 3D, qui produit des signaux de télémesure et d'intensité simultanés, sont résumées au tableau 1. La figure 2 montre des séquences d'images de télémesure et d'intensité de trois poissons tropicaux vivants dans un aquarium.

Tableau 1. Fiche technique de la caméra 3D à taux vidéo

Paramètre	Valeur
Volume de mesure	5 cm × 5 cm × 5 cm
Taux d'images	30 images par seconde
Résolution du balayage	512 H × 420 V par image
Précision du balayage	±1/4 pixel
Résolution en profondeur	256 niveaux
Plage dynamique	65 000
Puissance laser	35 à 350 mW

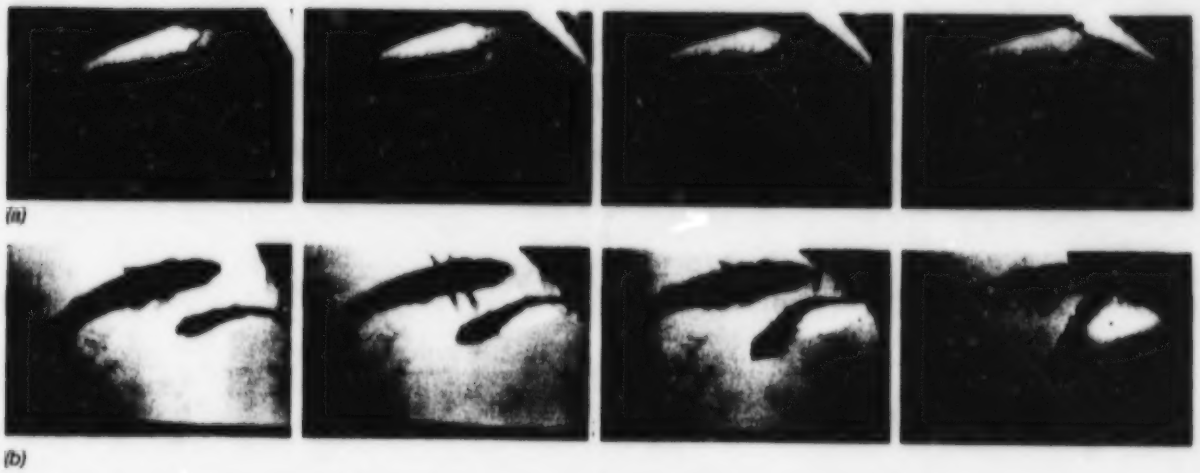


Figure 2. Séquence d'images de trois poissons tropicaux dans un aquarium : a) séquence de télémesure, 4/30 s entre les images; b) séquence d'intensité, 4/30 s entre les images.

À cause de la nature même du capteur de position de cette caméra 3D, deux facteurs influent sur la précision en profondeur: l'intensité de la lumière recueillie et la température. Par conséquent, il a fallu concevoir des circuits électroniques appropriés pour corriger les problèmes. Pour effectuer un contrôle efficace du galvanomètre, une version simplifiée du circuit et des algorithmes d'optimisation de formes d'onde (cf. *Bulletin* 3(3)) ont été incorporés pour obtenir le balayage de l'axe vertical (30 ou 60 Hz). L'axe horizontal est obtenu grâce à un miroir polygonal rotatif. Toutes variations du déphasage, de l'amplitude et de l'origine du balayage sont automatiquement compensées en fonction de la fréquence de balayage (interlacée à 60 Hz ou non-interlacée à 30 Hz), de l'inertie de l'ensemble galvanomètre-miroir et de l'amplitude de la déflexion.

Caméra 3D couleur

Jusqu'à maintenant nos prototypes nous permettent d'enregistrer simultanément les coordonnées spatiales de la surface d'un objet (x, y, z) ainsi que l'intensité de lumière diffusée à cet endroit (x, y, I). Récemment nous avons fait une demande de brevet reliée à la conversion des caméras 3D monochromes pour en faire des caméras 3D couleur (RVB). Il s'agit d'une modification simple qui permet de convertir les prototypes de caméra 3D, utilisant les principes que nous avons brevetés, pour un coût très modique (excluant le coût de la source laser).

Réduction du bruit de granularité

Dans le cadre d'un projet collaboratif, un scientifique de la compagnie Servo-Robot Inc. a travaillé pendant près de deux années dans notre laboratoire. Durant cette période une part importante de ses efforts ont porté sur la réduction du bruit de granularité qui affecte la résolution de la mesure de position et donc des capteurs de vision 3D. Une des conclusions de l'étude est illustrée à la figure 3. Nous montrons l'effet de l'intégration spatiale de l'image d'un faisceau laser diffusé par une surface opaque. Un effet de moyennage se produit grâce à la synchronisation des balayages. Les paramètres de cette effet de moyennage peuvent être quantifiés grâce à un modèle mis au point durant le projet.

BIRIS

Une nouvelle tête optique compacte a été conçue de façon à bien intégrer le système de projection de BIRIS avec le détecteur optique. Le système de projection comporte une diode laser fonctionnant dans l'infrarouge, l'optique requise pour projeter une ou plusieurs lignes, et l'électronique permettant de moduler la puissance laser entre 0 et 25 mW directement par un signal TTL-PWM.

De façon à rendre la technologie plus accessible, nous avons aussi intégré le capteur à un système de traitement d'images disponible commercialement. Même si les performances totales ne sont pas aussi élevées qu'avec notre système dédié, l'aspect disponibilité, facilitée d'intégration, et utilisation du système pour le traitement ultérieur des résultats 3D ainsi obtenus, est des plus attrayant. Le système Maxvidéo de Datacube a été choisi à cause de sa grande modularité et de la diversité des modules disponibles.

Le logiciel est entièrement écrit en C, utilisant un processeur de la série 680X0 dans les environnements UNIX de Sun ou OS-9 de

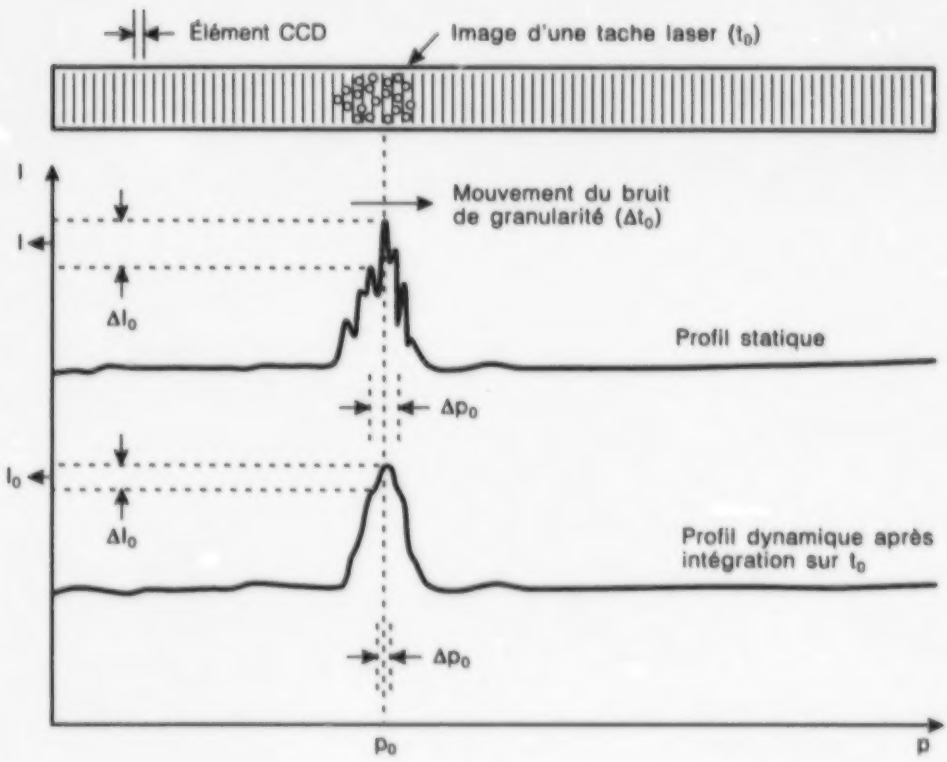


Figure 3. Réduction du bruit de granularité. Le profil du haut illustre l'amplitude du bruit de granularité ΔI_0 et son influence sur l'imprécision de la mesure de position Δp_0. Le profil du bas illustre la réduction du bruit due à l'effet de moyennage créé par la synchronisation des balayages de détection et de projection.

MicroWare. De façon à supporter le plus grand nombre d'environnement possible, une interface très simple a aussi été prévu consistant en un ensemble d'espaces mémoire sur le bus VME apparaissant, pour l'utilisateur, comme un périphérique intelligent esclave. Un processeur maître, directement sur le bus VME ou par l'intermédiaire d'une interface parallèle VME-VME ou PC-VME par exemple, peut permettre de faire le lien entre l'environnement maître (p.ex. Harmony) et le système BIRIS.

Le logiciel ainsi que la technologie développée est disponible aux universités canadiennes pour usage interne dans le cadre de leurs travaux de recherches. L'Université Laval à déjà conclu une entente à cette fin.

Applications des capteurs de vision 3D

M. Rioux, F. Blais, G. Godin

Datagraphie et compression des fichiers

La datagraphie est une technique que nous avons proposée lors de la conférence internationale des technologies médiatiques tridimensionnelles, tenue à Montréal en mai 1989. Cette technique que nous appelons «Datagraphie», par analogie à l'holographie, consiste à faire l'acquisition détaillée de la forme et de l'intensité diffusée de la surface d'un objet afin d'en reproduire l'image 3D à l'écran. Deux stratégies sont proposées pour l'acquisition; une première consiste à placer l'objet sur une table tournante et à digitaliser la surface grâce à un système de balayage dont l'axe de projection coïncide avec l'axe de rotation de la table tournante, une deuxième consiste à intégrer des vues multiples prises tout autour de l'objet.

L'utilisation d'une technique de balayage laser nous donne l'avantage de pouvoir sélectionner à volonté la dimension des échantillons désirées (typiquement de 100 µm). De cette manière il est possible d'enregistrer la forme et la réflectivité d'un objet dans un fichier très compact et non-redondant (contrairement à l'holographie). La dimension d'un fichier obtenue par datagraphie (qu'on pourrait appeler un datagramme) est typiquement de l'ordre d'un mega-octet. En comparaison, la digitalisation d'un hologramme nécessite une capacité de mémoire de l'ordre de 10^{11} octets, donc l'hologramme nécessite 100 000 fois plus de mémoire.

La figure 4 montre un datagramme d'un objet obtenu par l'utilisation d'une table tournante. Les photographies représentent en (a) la forme de l'objet, constituée de profils mesurés à tout les demi-degrés, et en (b) les réflectivités associées aux mesures de forme.

La figure 5 illustre deux reconstructions faites à partir du datagramme. Les reconstructions peuvent être faites sur écran graphique. L'angle de reconstruction est spécifié par l'usager et l'objet peut être tourné en temps réel si désiré. De plus, certaines stations graphiques sont munies d'un écran stéréoscopique qui permet alors une reconstruction 3D que l'on peut tourner à l'écran pour une observation détaillée. Une particularité de notre approche (synchronisation de balayages laser) est l'absence de bruit de granularité, et la possibilité d'obtenir une reconstruction 3D en couleur avec une fidélité photographique.

Cette technique pourrait trouver des applications intéressantes dans le domaine des communications visuelles étant donnée la taille réduite des fichiers, qu'il est possible de réduire encore plus pour la transmission et le stockage par l'usage de techniques de compression. Un algorithme de compression a été développé à cette fin. Il se base sur les caractéristiques naturelles des objets 3D pour obtenir un taux de compression intéressant sans aucune perte d'information, contrairement aux algorithmes classiques, plus performant mais affectant l'intégrité des données. L'algorithme et le format des fichiers ainsi créés sont compatibles entre les systèmes UNIX, OS-9, VMS et PC (DOS). Nous avons appliqué cette technique à notre base de données d'images 3D qui contient 214 image 3D nécessitant 214 disquettes. À l'aide de cet algorithme il est possible de réduire le nombre de disquettes à moins de 10, permettant une diminution significative des coûts de transmission ou de stockage.

Conservation et authentification

Notre collaboration avec l'Institut canadien de conservation se poursuit, et récemment nous avons utilisé notre prototype à haute résolution afin de reproduire une plaque mortuaire de Jean de Brébeuf dont la surface se détériore d'une manière irréversible. Cette détérioration qui rend le métal friable empêche toute reproduction par des techniques conventionnelles (avec contact). De plus, nous croyons que le prototype utilisé est le seul appareil permettant une reproduction détaillée (sans contact) dans un temps raisonnable. En effet, notre fichier d'acquisition de la forme de la plaque contient plus d'un million d'échantillons dont la résolution est de 50 µm, et la durée de l'enregistrement est de l'ordre de la minute.

Une autre application consistait à évaluer l'authenticité d'empreinte de sceaux sur des

(a)

(b)

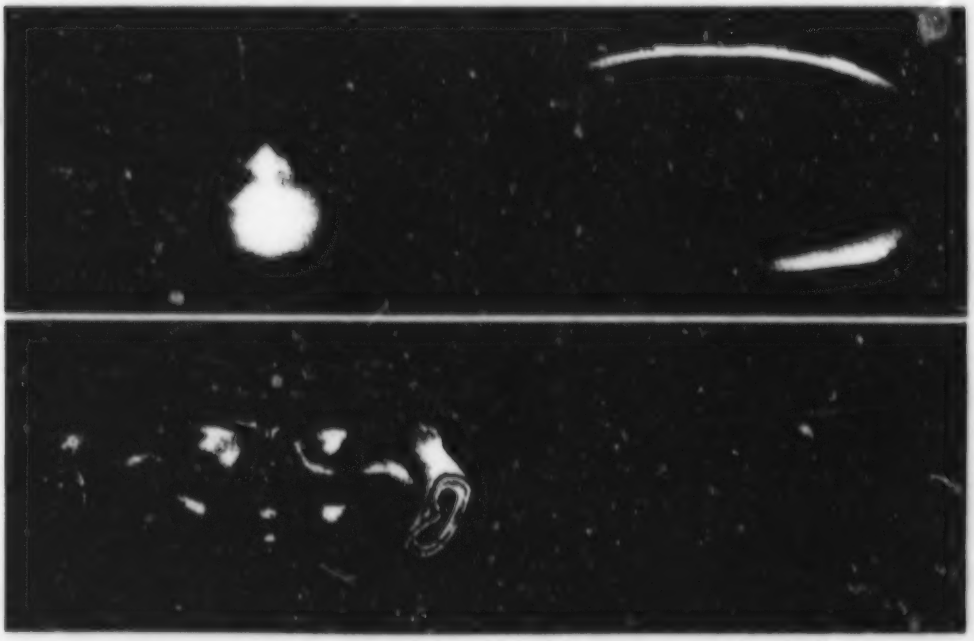


Figure 4. «Datagramme»; un enregistrement sur 360° de la forme et de la texture (intensité) d'un objet : (a) la forme codée en niveaux de gris, (b) l'intensité diffusée.

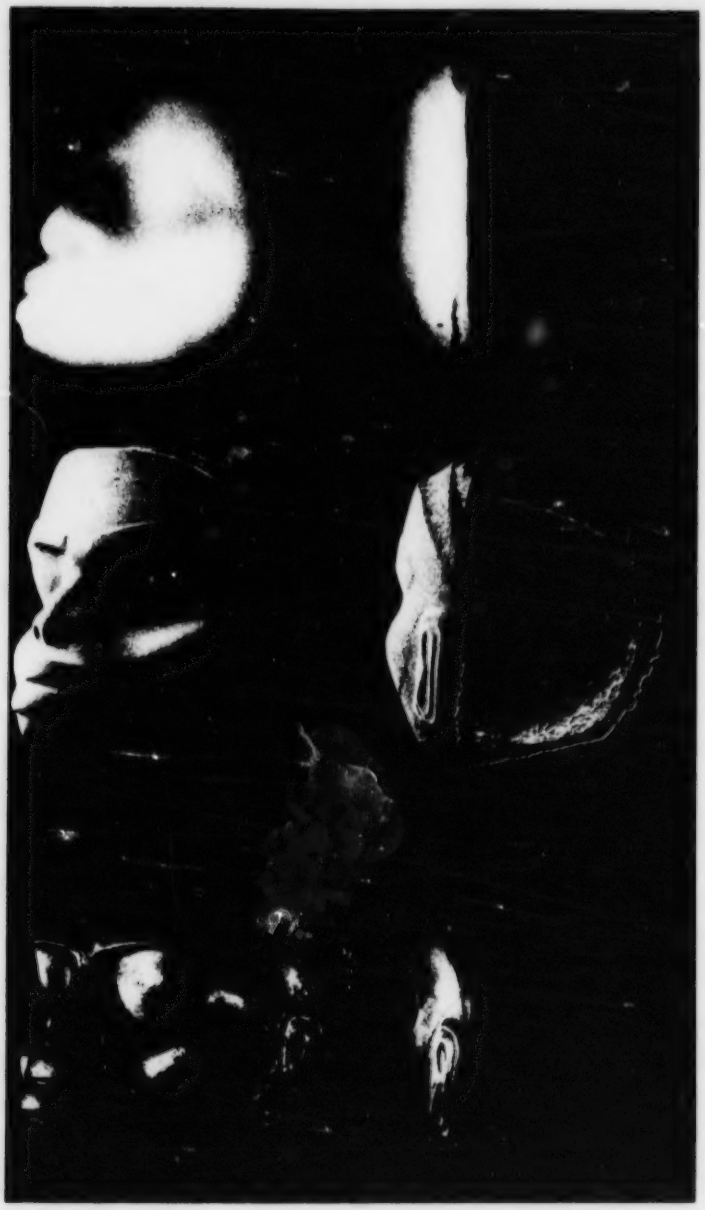


Figure 5. Deux reconstructions obtenues à partir de la figure 4. En haut, la forme 3D codée en niveaux de gris, au milieu, la dérivée des données 3D; en bas, les données d'intensité appliquées sur la surface 3D.

peintures à l'huile. Dans le but d'assister les experts de l'Institut de conservation nous avons effectué des mesures 3D sur le sceau original et des comparaisons 3D ont été faites sur des empreintes authentiques et présumées authentiques. Dans ce cas le bruit de la mesure de distance (z) est de l'ordre de 10 µm (RMS).

[1]Chercheur invité.

Prothèses dentaires

Nous avons démarré des prises de données sur des empreintes dentaires dans le but d'automatiser la fabrication de prothèses. Un des projet est reliés à la production de couronnes, conjointement avec l'Institut canadien de technologie industrielle à Winnipeg. Un autre projet du même genre est fait en collaboration avec une entreprise de Montréal dont un scientifique travaille à notre laboratoire afin de mettre au point un concept de mesure et de production de prothèses dentaires.

Traitement, analyse et interprétation d'images 3D

M. Rioux, P.B. Boulanger, G. Godin, N.N. Abdelmalek, F. Blais, M. Yamamoto[1]

Les images 3D ont un avantage marqué sur les images d'intensité en ce qu'elles contiennent des données géométriques des objets de la scène ce qui réduit de beaucoup la complexité de l'analyse. Cette propriété devrait permettre de développer des applications ayant des performance beaucoup plus robustes même dans un environnement moins structuré. Une partie croissante de nos effort est donc dirigée vers l'interprétation d'images 3D. Un des éléments essentiels à l'interprétation, sur lequel repose la qualité du résultat final, est la segmentation des surfaces visibles dans la scène. Certaines techniques de segmentation ont donc été développées et évaluées de même que certains outils nécessaires à la segmentation.

Espace d'échelle anisotrope

Un des problèmes de l'espace d'échelle appliqué aux images de profondeur est que le résultat obtenue n'est pas invariant aux points de vue. Afin de résoudre ce problème, une nouvelle technique de filtrage Gaussien a été développée. Cette technique calcule une moyenne mobile dont les points à l'intérieur de la fenêtre de convolution sont pondérés par une fonction de support qui est déterminée par la distance géodésique de surface et par la compatibilité angulaire déterminée par le théorème de transport le long de la trajectoire géodésique. Le filtre possède les caractéristiques suivantes : préserve les discontinuités de profondeur et d'orientation, préserve les propriétés de courbures, invariant aux points de vue. Nous pouvons voir à la figure 6 (a), (b), (c) et (d) une illustration de la variation de la surface d'un jouet en fonction de la taille de l'opérateur.

Détecteur des discontinuités de profondeur et d'orientation

La détection des discontinuités de profondeur et d'orientation par méthode morphologique

(a) (b) (c) (d)

Figure 6. Filtrage anisotrope (a) Image originale ombrée, (b), (c), (d) image filtrée avec σ = 2,5, 5,0, 7,5.

est essentielle pour l'analyse d'images de profondeur. Afin de détecter ces structures, un nouvel algorithme utilisant des opérations de la morphologie mathématique fut développé. L'algorithme possède les caractéristiques suivantes : excellente immunité contre le bruit, localisation des discontinuités à la précision du pixel, ajustement automatique des paramètres de détection; structure parallèle.

L'implémentation des algorithmes d'analyse d'images sur des processeurs temps réel est essentiel à leur usage. Nous avons donc récemment fait l'acquisition d'un système spécialisé de traitement d'images MaxVideo de Datacube pour nous permettre d'expérimenter dans un environnement dédié certains des algorithmes de traitement des images 3D qui sont présentement développés dans l'environnement plus lent et moins spécialisé du VAX.

Des études préliminaires d'implémentation de l'algorithme de détection de discontinuités sur ce processeur ont démontré qu'il est possible de calculer la position de ces discontinuités en moins de 0,5 s.

Segmentation hiérarchique et primitive geométrique

Nous avons développé une technique de segmentation hiérarchique capable de représenter une image de profondeur à divers degrés de précision. L'algorithme utilise des polynômes du second ordre comme primitives géométriques de base. Grâce à cet algorithme nous somme capable de traiter les problèmes d'identification d'une façons multi-résolution et ainsi réduire la complexité de la mise en correspondance entre l'objet observé et les modèles dans la base de connaissance.

Segmentation de petits objets à l'aide de l'histogramme de la courbure moyenne d'une surface et de l'analyse des erreurs algébriques

Une méthode de segmentation des images de télémesure 3D de petits objets de type industriel au moyen de l'histogramme de la courbure moyenne d'une surface a été présentée. Elle repose sur le principe selon lequel, aux limites de segmentation, les courbures moyennes d'une surface sont beaucoup plus fortes que celles d'au moins une des régions séparées par ces limites. Les limites de segmentation comprennent des plis, des lignes de crête et les limites entre les régions planes et les régions non planes. Les bords des sauts et les limites de l'objet sont établis séparément. La courbure moyenne à chaque point de la surface est calculée, et l'histogramme de courbure moyenne est construit pour toute l'image, sauf les limites des sauts. Cet histogramme permet de réaliser une segmentation grossière de l'image. Les limites de segmentation peuvent ensuite être modifiées après examen des résidus des plans d'ajustement à chaque point des limites et de la région immédiate.

Pour comparer le rendement de différents algorithmes utilisés pour établir la courbure d'une surface, on présente une analyse des erreurs algébriques sur les courbures calculées des surfaces des images de télémesure 3D, selon quatre techniques d'estimation des courbures décrites dans la documentation. On conclut que les deux méthodes qui produisent les meilleures

estimations de courbure en termes d'exactitude présentent des limites d'erreur de courbure presque identiques. La faiblesse des deux autres méthodes ne tient pas à des termes importants d'erreur de courbure calculée, mais à d'autres facteurs comme un calcul inexact des plans tangents ou une estimation inexacte des dérivées directionnelles de premier et de second ordre.

Analyse temporelle d'images 3D

Un autre aspect intéressant, spécialement après la démonstration de l'acquisition 3D à très haute vitesse, est l'analyse de séquences temporelles d'images 3D. Ceci est exploré dans le cadre de collaborations, l'une avec le Laboratoire électrotechnique (Japon), dont un chercheur a séjourné un an dans notre laboratoire et l'autre avec l'Université Concordia.

Outils de représentation des données 3D et intégration de vues multiples

Étant donné les difficultés sérieuses rencontrées jusqu'à présent pour segmenter de façon juste toutes les surfaces d'un scène, il est apparu essentiel de mettre au point des outils permettant la visualisation et l'interaction avec les données 3D dans le but de développer des systèmes où l'opérateur est assisté par l'ordinateur et peut corriger les erreurs ou imprécisions. Dans ce but plusieurs outils graphiques destinés à l'affichage de données 3D provenant des capteurs ont été mis au point. Ces outils permettent la visualisation rapide de données géométriques inégalement réparties dans l'espace, fournies sur une grille paramétrique rectangulaire. La surface ainsi créée peut être manipulée interactivement (rotation, translation, expansion). Il est possible d'y appliquer une carte de couleur, en correspondance avec les données 3D, pouvant représenter l'intensité lumineuse réfléchie vers le capteur aussi bien que des valeurs calculées (erreur d'approximation, courbure, etc.). De plus, l'utilisation de modèles d'éclairage synthétique permet de faire ressortir les caractéristiques géométriques de la surface. Ce logiciel a été développé sur une station graphique de haute performance IRIS 4D/80GT de Silicon Graphics.

Ces outils ont entre autres permis la réalisation d'un logiciel de comparaison de formes, destiné à l'évaluation qualitative des différences entre deux images 3D d'objets quasi-identiques. Ce logiciel a été utilisé dans le cadre d'un projet avec l'Institut canadien de conservation.

Le potentiel de ces outils a d'abord été expérimenté pour l'intégration de vues multiples d'objets en modèles de surface/volume. Les capteurs télémétriques de haute précision offrent de grandes possibilités d'utilisation dans la construction de modèles numériques d'objets existants. Un tel processus débute avec l'acquisition d'un ensemble d'images 3D à partir de positions et d'orientations connues, ce qui permet de ramener tous les points mesurés dans un référentiel commun. Cependant, on peut s'attendre à ce que la forme de plusieurs objets rende inaccessibles au capteur certaines portions de surface. L'objectif d'intégration des données ne consiste donc pas seulement à réunir l'information provenant des différents vues en éliminant les portions de surface redondantes, mais également à compléter cette surface de façon à ce qu'elle englobe complètement un volume. La stratégie utilisée fait l'estimé le plus conservateur qui soit de la forme de l'objet, le long des lignes définies par la trajectoire des rayons lumineux lors du processus de triangulation d'un point de la surface dans chacune des vues. Les régions d'ombrages (les portions de l'image où l'information 3D n'est pas disponible) reçoivent un traitement particulier, en fonction de leur alignement avec les points de référence de la triangulation. L'intersection de l'ensemble de ces volumes partiels produit la représentation volumique de l'objet, dont la surface complète peut être identifiée.

Ce projet constitue en fait la première étape dans la réalisation d'un système de génération semi-automatique de modèles CAO à partir de données télémétriques, et offre de plus la possibilité de reprographie 3D lorsque ces modèles sont transférés à une machine de fabrication numérique.

Traitement de données et capteurs

Source laser et détecteur de position fonctionnant à 1,5 μm

M.S. O'Sullivan, P.P. Maigné, J.E. Bernard, J. Chrostowski

Il y a trois ans, un projet a été lancé pour mettre au point une version inoffensive pour la vue d'un scanneur laser pour applications dans l'industrie et à bord de stations spatiales. Une source laser puissante et une photodiode à effet latéral spéciale ont été mises au point. Cette photodiode InGaAs a été conçue au CNRC et fabriquée et mise en boitier chez RCA à Vaudreuil. Le modèle du laser émission continue (EC), inoffensif pour la vue, est maintenant transféré sous licence à l'industrie à des fins de télémesure laser sans danger pour la vue. Le prototype de la caméra 3D inoffensive

pour la vue a été éprouvé. Les travaux en cours pour développer cette technologie comprennent un projet de fonctionnement en mode d'émission déclenché (Q-switched), en collaboration avec l'Université Carleton, et des travaux préliminaires sur les lasers pompés à diode, inoffensifs pour la vue.

Traitement optique non linéaire

S.A. Boothroyd,[1] M.S. O'Sullivan, J. Chrostowski, N. Peereboom,[1] L. Chan[1]

La mise au point de sources lasers fiables a contribué à susciter un intérêt accru pour les applications des techniques optiques en lumière cohérente qui offrent de grands avantages dans le traitement des signaux analogiques, notamment un haut degré de parallélisme, et permettent la transmission rapide d'information par propagation dans l'espace libre ou dans des guide d'ondes. De plus, l'enregistrement de l'amplitude et de la phase des fronts d'onde optiques, modulés dans l'espace et dans le temps, a ouvert de nouvelles avenues. Les applications concrètes de ces principes nécessitent des matériaux non linéaires permettant une interaction efficace et rapide entre des faisceaux optiques à de faibles puissances. Les effets thermiques limitent le rendement des matériaux actuels, y compris les super-réseaux semiconducteurs, pour la commutation optique numérique dans les télécommunications et dans le calcul. Cependant, pour les applications analogiques, deux groupes de matériaux ont été identifiés comme très prometteurs. Les travaux actuels portent sur le traitement optique au moyen d'absorbants saturables et de cristaux photoréfringents disponibles dans le commerce, permettant de concevoir des systèmes et de mettre au point de nouveaux algorithmes de traitement. Ce projet à long terme vise à mettre au point des instruments de taille réduite (pour robots mobiles et instruments utilisables dans l'espace) pour la reconnaissance des images de données de télémesure 3D. Des travaux antérieurs sur le mixage de deux ondes (MDO) dégénérées dans le verre d'acridine et le rubis ont été étendus à la fluorescéine dans un effort pour comprendre le résultat anormal obtenu dans le rubis. Ces résultats ont démontré que la durée de l'état excité de la fluorescéine dépend de l'intensité incidente et du coefficient d'absorption, c.-à-d. de la température, mais aucune explication satisfaisante n'a encore été trouvée pour décrire l'effet anormal du MDO.

Les caractéristiques des lasers titane-saphir destinés à ces applications ont été étudiées en lumière verte, en mode d'émission déclenché et verrouillé, du système laser 3800 de Spectra Physics. Le comportement en mode de «commutation de gain» est en accord avec d'autres travaux décrits dans la documentation. Pour le fonctionnement en EC, l'analyse gaussienne du faisceau a été appliquée à une cavité à quatre miroirs pour obtenir les composantes supplémentaires requises. Des mesures ont été prises pour obtenir une sortie accordable en utilisant le filtre Lyot. Le nouveau montage pour fonctionnement en EC doit être mis à l'essai sous peu.

Les travaux se sont poursuivis sur les modes de traitement optique qui exploitent soit le traitement en série très rapide, soit des modes particuliers de traitement entièrement parallèle, mais lent, des images, qui font intervenir la transformation de Fourier, la corrélation, la conjugaison de phase et l'interférométrie en temps réel. Une protection sous brevet a été demandée pour un interféromètre de traitement des images équipé de miroirs à conjugaison de phase. En outre, des matériaux de traitement optique sont à l'étude. Certains travaux expérimentaux préliminaires ont été effectués sur les semiconducteurs photoréfringents InP, GaP et GaAs. Ces matériaux présentent une non-linéarité effective de troisième ordre élevée, et ils seront caractérisés en termes d'amplification des images, une exigence importante dans le traitement des images.

Un corrélateur de transformées mixtes exploitant l'anisotropie optiquement induite dans le verre à l'acide borique dopé à la fluorescéine a été mis au point. La corrélation est importante car elle peut servir à identifier des images d'objets semblables dans une scène.

Un schéma du montage expérimental est donné à la figure 7. L'intensité de la lumière lue à la sortie de second analyseur est proportionnelle à l'intensité de la lumière de pompage qui est donnée par le carré de la transformée de Fourier de l'image incidente. La transformée de Fourier de cette information, obtenus au moyen d'une deuxième lentille, donne l'autocorrélation de l'image incidente. Les résultats d'autocorrélation d'une scène révèlent la présence d'un important signal dans la zone centrale où les fonctions d'autocorrélation des différentes formes géométriques chevauchent et à l'extérieur de cette zone où ces formes devraient présenter des corrélations croisées (figure 8). La région centrale est caractérisée par des pics correspondant à la corrélation croisée de deux cercles identiques. Le rapport signal/bruit des pics de corrélation croisée est de 250/1.

[1] Travailleur invité.

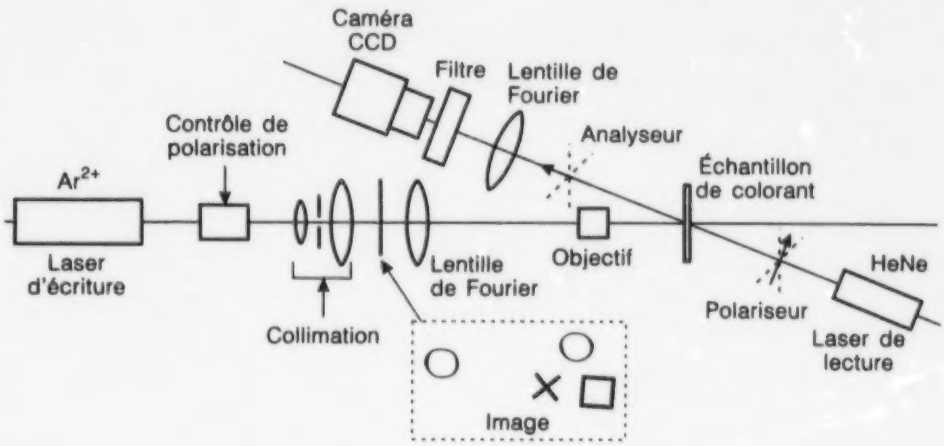


Figure 7. Schéma du corrélateur optique, médaillon : image d'entrée.

L'application possible à l'optique de nouveaux algorithmes de réseau neural d'interaction sous la forme probablement hybride d'un corrélateur adaptatif et d'une mémoire associative est en cours d'évaluation, des matériaux optiques non linéaires ayant une fonction d'élément d'interconnexion et un microordinateur ayant une fonction de seuil. Deux brevets américains concernant le traitement non linéaire des données optiques, basés sur ces travaux, ont été déposés.

Projets de collaboration avec l'industrie et les universités

Les projets sous cette rubrique sont définis et financés conjointement par les sociétés ou les universités associées pour tirer profit des compétences en génie photonique de la Section photonique et capteurs. Ils ont été choisis parce qu'ils complètent ou prolongent des projets internes.

Capteurs photoniques et réseaux de capteurs

J.E. Bernard, J. Chrostowski, H. Kopola,[1] M. Osterfeld,[1] W.J. Bock[1]

Des projets sur les aspects systémiques des sondes photoniques de champ électrique sont menés en collaboration avec le Département de génie électrique de l'Université d'Ottawa et la Division d'avionique de Marconi Canada à Montréal. Une recherche conjointe a aussi été entreprise avec l'Université de Duisburg, en Allemagne de l'Ouest, sur l'utilisation possible de matières organiques pour détecter les champs électriques et moduler. Un nouveau modèle du capteur de champ électrique a été installé sur un cristal de KTP et une antenne hémisphérique. Ainsi, une grande partie des travaux en cours est consacrée aux aspects systémiques des capteurs multiples.

Plusieurs problèmes fondamentaux associés aux capteurs interférométriques couplés à des filtres optiques ont été examinés. Dans la pratique, un capteur interférométrique doit comporter une source de lumière fiable et économique dont le spectre peut être modulé pour lire la phase de l'interféromètre. La modulation spectrale de lasers à diode a été mesurée et s'avère insuffisante pour la plupart des capteurs. Par ailleurs, on peut utiliser une source à large bande avec une longueur de cohérence de moins de 100 µm, et une technique appelée «interférométrie en lumière blanche» pour détecter la différence de chemin optique (DCO) entre les deux bras de l'interféromètre. Comme les sources à large bande actuelles, qui peuvent être couplées à une fibre monomodale, sont chères et peu fiables, on a étudié plusieurs lasers à diode à bande plus étroite, dont les longueurs d'onde sont choisies pour imiter une source à large bande. Les calculs numériques effectués pour prévoir l'interférence produite par une paire d'interféromètres couplés montrent que, pourvu que le chevauchement soit suffisant dans les spectres, une telle source peut être utilisée en interférométrie en lumière blanche. En outre, une technique d'élargissement du spectre des diodes lasers a été étudiée expérimentalement. Dans le cas présent, la diode laser est polarisée en c.c. bien en deçà du seuil, et un train d'impulsions courtes de courant de grande amplitude est appliqué. Ces impulsions opèrent une commutation de gain du laser qui émet un train d'impulsions optiques courtes dont le spectre est composé de nouveaux modes longitudinaux, chacun étant élargi. Le rendement de ce laser est en cours d'optimisation. En plus d'être utile

[1] Travailleur invité.

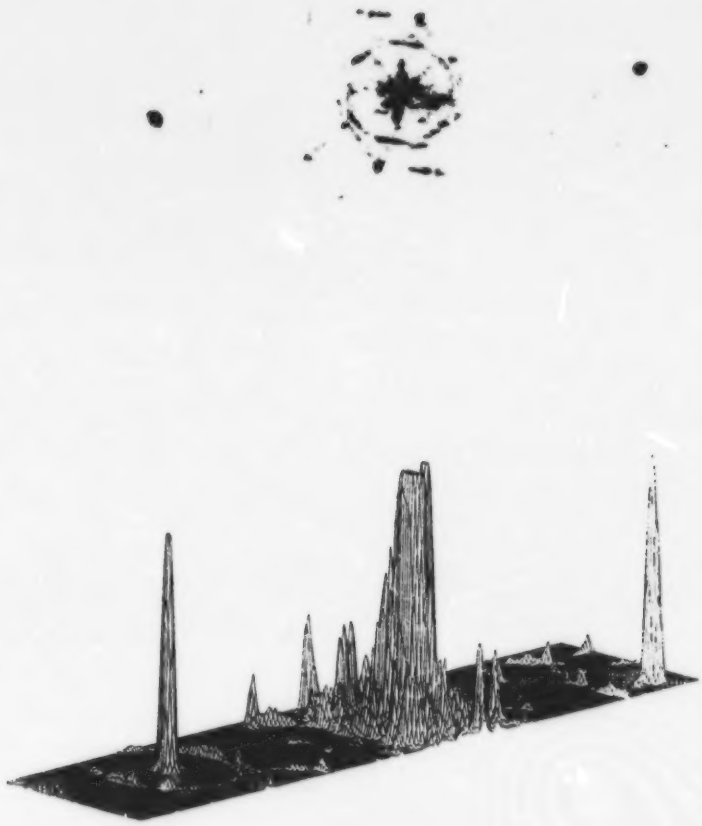


Figure 8. Autocorrélation de l'image d'entrée obtenue avec une puissance de pompage de 160 µW incidente sur le verre et une puissance laser de lecture de 1 mW.

en interférométrie en lumière blanche, une telle source à courte longueur de cohérence peut aussi servir dans les gyroscopes à laser.

La sensibilité aux variations de température peut encore poser un problème en interférométrie en lumière blanche. Un interféromètre peut être rendu insensible à la température seulement si les deux bras sont à peu près d'égale longueur. Toutefois, il est presque impossible de lire la phase d'un interféromètre ordinaire avec un décalage presque nul simplement en variant la longueur d'onde de la source. Des travaux antérieurs de la Section sur les guides d'ondes optiques ARROW ont montré que la dispersion chromatique de cet appareil peut différer fortement de celle d'autres guides d'ondes optiques. Il est proposé d'exploiter cette différence de dispersion pour construire un nouveau type d'interféromètre dans lequel la DCO dépend de la longueur d'onde de la source. Toute variation de la longueur d'onde de la source a sur cet interféromètre un effet qui est similaire à celui produit normalement en plaçant un déphaseur actif dans un des bras. L'incidence de la longueur d'onde sur la DCO, y compris les effets de dispersion du matériau, a été évaluée numériquement pour un interféromètre avec des bras en forme de plaque guide d'ondes plane et pour un guide d'ondes ARROW. Les résultats montrent que si la longueur d'onde est modifiée de 1 nm, l'image d'interférence dans un interféromètre équilibré dont les bras ont 3 cm de long sera décalée de près d'une frange.

Dans le but de mettre au point un capteur optique de température ou de pression, on a étudié des mini-lasers Nd:YAG pompés à diode. En collaboration avec la Division de physique, on a construit plusieurs lasers dont les cavités ont à peine 0,4 et 0,7 mm de longueur hors-tout. Lorsque pompés à 809 nm à partir de la sortie d'un laser GaAlAs, ces appareils lasent à 1,06 µm dans un seul mode transversal. Les échantillons plus courts ne fonctionnent qu'en mode longitudinal unique à toutes les puissances de sortie. En raison de leur petite taille et de la sensibilité de leur longueur d'onde de sortie à la température et à la pression, ces lasers conviennent très bien comme capteurs optiques couplés à des fibres. On prévoit utiliser un de ces capteurs dans une chambre à haute pression. Au début, les variations de la longueur d'onde de sortie seront mesurées à l'aide d'un interféromètre de Fabry-Pérot. Des mesures plus précises pourront ensuite être obtenues en exploitant les raies extrêmement étroites de ces lasers, ce qui permettra d'utiliser les techniques des hétérodynes optiques.

Réseaux et systèmes photoniques

M.S. O'Sullivan, S.A. Boothroyd,[1] M.S. Wartak,[1] J. Chrostowski, L. Chan,[1] S. Yuen,[1] C.W. Barnard[1]

La collaboration avec l'Institut de recherche sur les télécommunications de l'Ontario (IRTO) et ses partenaires industriels au projet des «Réseaux et systèmes photoniques» a été très intense. Plusieurs chercheurs de l'IRTO travaillent dans la Section sur les interconnexions optiques, un aspect important dans les communications optiques et dans le traitement des signaux. Le travail en matière d'interconnexions optiques à

[1] Travailleur invité.

base de silicium et de substances organiques, compatibles avec les composants électroniques VLSI, a notamment porté sur la nouvelle structure multicouche ARROW (Antiresonnant Reflecting Optical Waveguide) et ses propriétés. Cette dernière constituera la base des diviseurs, des multiplexeurs et des corrélateurs de faisceaux dans la mise en oeuvre du réseau photonique ultra rapide. Les guides d'ondes sont construits sur le modèle du scripteur laser direct mis au point au CNRC. Le traitement du silicium est élaboré au Département d'électronique de l'Université Carleton, à Ottawa en Ontario. À cela se rattachent des projets sur des hologrammes produits par ordinateur et sur des hologrammes dynamiques en milieu photoréfringent. Ceux-ci serviront aussi d'interconnexions programmables pour des filtres appariés et des mémoires associatives dans des projets internes du CNRC. Un projet de collaboration avec Andrew Engineering Inc. et l'Université Simon Fraser de Burnaby (C.-B.), concernant un laser à semiconducteurs en lumière bleue pour l'écriture laser de micro-patrons, a abouti à la mise au point d'un premier prototype à cristal de niobiate de potassium. Le Groupe des couches minces de la Division de physique du CNRC est chargé de l'application de couches spéciales sur les cristaux.

Mémoires récents

Publiés

Abdelmalek, N.N. Piecewise linear least-squares approximation of planar curves including computer programs. CNRC/ERB-1020, mai 1989. 49 pages. CNRC 31069.

Abdelmalek, N.N. Heuristic procedure for segmentation of 3-D range images. Int. J. Systems Sci. 21(2): 225–239; 1990. CNRC 31415.

Abdelmalek, N.N., et Boulanger, P. Algebraic error analysis for surface curvature of 3-D range images. Proceedings of Vision Interface '89, London (Ont.). 19–23 juin 1989. pp. 29–36. CNRC 30297.

Beraldin, J.A. Design of Bessel-type transimpedance preamplifiers for lateral effect photodiodes. Int. J. Electron. 67(4): 591–615; 1989. CNRC 29612.

Blais, F., Rioux, M., et Domey, J. Realtime processing requirements and implementation for the BIRIS range sensor. Proceedings of Electronic Imaging '89, Boston (MA). 2–5 octobre 1989. pp. 1053–1058. CNRC 30751.

Blais, F., Rioux, M., et Domey, J. Compact three-dimensional camera for robot and vehicle guidance. Opt. Lasers Eng. 10: 227–239; 1989. CNRC 30032.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., et O'Sullivan, M.S. Determination of the phase of the complex nonlinear refractive index by transient two wave mixing in saturable absorbers. Opt. Lett. 14(17): 946–948; 1989. CNRC 30400.

Boulanger, P., Gagalowicz, A., et Rioux, M. Integration of synthetic surface relief in range images. Comput. Vision, Graphics, Image Process. 47: 361–372; 1989. CNRC 29538.

Boulanger, P. Segmentation de formes géométriques complexes par la méthode des courbures. CNRC/ERB-1023, décembre 1989. 23 pages. CNRC 31210.

Jiang, W., Chrostowski, J., et Fontaine, M. Analysis of ARROW waveguides. Opt. Commun. 72(14): 180–186; 1989. CNRC 30316.

Madej, A., Berger, W.E., Hanes, G., et O'Sullivan, M.S. Tunable frequency narrowed Nd^{3+}-doped fiber laser for excitation of the $5p\ P^{1/2}4d\ D_{3/2}$ transition in Sr^{+}. Opt. Commun. 73(2): 147–152; 1989. CNRC 30311.

Porada, E., et Boulanger, P. Interactional parallel processing in neural nets. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Washington (DC). 18–22 juin 1989. Vol. II, pp. 557–560. CNRC 31264.

Porada, E., et Rioux, M. Theory and computer simulation of the interactional neural network. CNRC/ERB-1021, avril 1989. 23 pages. CNRC 30269.

Rioux, M. Computer acquisition and display of 3-D objects using synchronized laser scanner. Proceedings of the 1989 International Conference on Three Dimensional Media Technology, Montréal (Qué.). 30 mai – 1er juin 1989. pp. 253–268. CNRC 30295.

Rioux, M., Blais, F., et Beraldin, J.-A. Laser range finder development for 3-D vision. Proceedings of Vision Interface '89, London (Ont.). 19–23 juin 1989. pp. 1–9. CNRC 30296.

Rioux, M., Blais, F., Beraldin, J.-A., et Boulanger, P. Range imaging sensors development at NRC Laboratories. IEEE Workshop on Interpretation of 3D Scenes, Austin (TX). 27–29 novembre 1989. pp. 154–160. CNRC 30819.

Wartak, M.S., et Chrostowski, J. Chromatic dispersion in nonlinear optical waveguides. Microwave Opt. Technol. Lett. 2(9): 340–342; 1989. CNRC 30567.

Wong, A.K.C., Lu, S.W., et Rioux, M. Recognition and shape synthesis of 3-D objects based on attributed hypergraphs. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(3): 279–290; 1989. CNRC 31263.

Yamada, H., Boulanger, P., et Sakaue, K. Matching of complex 3-D surfaces using dynamic programming. CNRC/ERB-1022, decembre 1989. 13 pages. CNRC 30411.

Présentés

Boothroyd, S.A. Nonlinear optics for signal and image processing. IEEE Laser and Electro-optics

Society Ottawa Chapter, Ottawa (Ont.). 21 novembre 1989.

Boothroyd, S.A., Chrostowski, J., et O'Sullivan, M.S. Influence of absorptive and phase gratings on two-wave mixing in saturable absorbers. Annual Meeting of the Optical Society of America, Orlando (FL). 15–20 octobre 1989.

Boulanger, P. La vision 3D. Cours, École Polytechnique, Montréal (Qué.). 29 novembre 1989.

Boulanger, P. La vision 3D au CNRC. Séminaire, Université du Québec à Hull, Hull (Qué.). 6 décembre 1989.

Boulanger, P. Image processing. Séminaire, Gendarmerie royale du Canada, Ottawa (Ont.). 13 décembre 1989.

Chrostowski, J. Phénomènes optiques non-linéaires et traitement de signaux. Département de physique, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Qué). 12 avril 1990.

Domey, J. 3-D vision sensor research in NRC/DEE. Electrotechnical Laboratory, Tsukuba, Japon. 7 mars 1990.

Domey, J. 3-D vision sensor developments in NRC/DEE. Kubota Ltd., Kawasaki, Japon. 8 mars 1990.

Domey, J. 3-D vision sensor developments in NRC/DEE. Toshiba Corp., Kawasaki, Japon. 9 mars 1990.

Godin, G. Issues in the computation of edge-based descriptions from range images. Workshop on Range Image Understanding, Vision Interface '89, London (Ont.). 19 juin 1989.

Rioux, M. Development of range imaging sensors at the NRC Laboratories. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 6 mars 1990.

Wartak, M.S. Macroscopic quantum mechanics. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 7 novembre 1989.

Brevets

Blais, F. Peak position detector. Brevet Can. 1,253,581. 2 mai 1989. CNRC 31674.

Blais, F. Galvanometric optical scanning system having a pair of closely located synchronization. Brevet É.-U. 4,800,270. 24 janvier 1989. CNRC 31675.

Bock, W., et Chrostowski, J. Method and lead-through system for laying out optical fibres across an aperture of a container shell. Brevet É.-U. 4,883,336. 28 novembre 1989. CNRC 31423.

Section de robotique et automatisation

Chef — M.A. Barakat

Introduction

La Section de robotique et automatisation fait partie de l'Institut canadien de technologie industrielle à Winnipeg, au Manitoba. La Section poursuit des travaux de recherche intéressant directement l'industrie, en collaboration avec des partenaires du secteur privé et des universités. Ces recherches portent surtout sur les secteurs suivants :

- robotique : travaux de recherche et développement sur des systèmes robotiques de pointe capables de s'adapter aux incertitudes de leur milieu de travail
- automatisation industrielle : travaux appliqués de recherche et développement sur la production et les essais assistés par ordinateur
- systèmes à bases de connaissances : développement de systèmes à bases de connaissances dans les domaines qui intéressent nos partenaires industriels

Ces travaux de recherche portent sur des secteurs industriels, comme, par exemple, la fabrication, le traitement, les services de santé et l'exploitation des ressources. Les projets de la section font appel au savoir-faire d'experts issus du Laboratoire des systèmes intelligents, d'autres Laboratoires de la Division de génie électrique et d'autre divisions du CNRC.

Robotique

Système expert de programmation hors-ligne pour robot peintre

P. Orban, G.D. Sawatzky, K.A. Miskiewicz

Ce projet visait le développement et l'implantation du squelette d'un système capable de produire et vérifier automatiquement les trajectoires d'un robot peintre. Le projet avait été lancé en collaboration avec un partenaire industriel et a été interrompu au début de 1990 parce que notre partenaire a décidé de concentrer ses efforts dans le domaine sur d'autres objectifs.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet ont permis de produire un plan initial du système et de formuler des descriptions détaillées des divers modules du système. Une étude détaillée a été réalisée sur la pertinence du système de CAO/FAO Unigraphics de McDonnell Douglas et du système du simulateur robotique en ce qui a trait à leur intégration au système de programmation de peinture. Un programme d'analyse par élément finis, simulant le processus du dépôt de peinture, a été produit et a fait l'objet de démonstrations. On a réalisé sur Macintosh II une version initiale du programme pour visualiser les résultats du dépôt de peinture et on a développé une méthode de correction en temps réel des erreurs de trajectoire.

Automatisation industrielle

Système d'inspection par vision artificielle pour l'inspection des pièces en tôle

S.F. El-Hakim, R. Rai[1]

Nous avons mis au point un système d'inspection par vision artificielle pour l'inspection des pièces en tôle pouvant faire jusqu'à 60 cm × 60 cm × 20 cm. Ce système doit être entièrement intégré, autonome, peu coûteux et polyvalent. Il doit pouvoir inspecter des pièces typiques de celles fabriquées par Bristol Aerospace. Les principales caractéristiques à mesurer sont les trous et les bords. Cette exigence varie en fonction de la nature de la pièce; le plus souvent, on doit mesurer les centres des trous, les diamètres des trous, la longueur et la largeur de la pièce, ainsi que les angles entre les bords.

Puisque 200 nouvelles pièces doivent être inspectées chaque année, la méthode d'introduction d'une nouvelle pièce dans la base de données (mode de formation) est un facteur clé. On a établi comme durée de formation à obtenir moins de la moitié du temps actuellement nécessaire pour l'établissement d'un rapport d'inspection dimensionnelle (RID) par Bristol. En mode d'exécution, l'inspection ne doit pas prendre plus du tiers du temps nécessaire à l'inspection des pièces par le procédé manuel actuel. On a entrepris le développement d'algorithmes pour la mesure des coordonnées-objets des bords et des trous, ainsi que des expériences sur diverses méthodes d'éclairage.

Système d'inspection automatisé polyvalent

S.F. El-Hakim, G. Taylor[2]

Dans le processus de remise en état des moteurs à réaction d'aéronefs, l'inspection est l'étape qui nécessite le plus de main-d'oeuvre; au cours des trois dernières décennies, la procédure d'inspection a très peu changé. La mesure dimensionnelle est en général prise par

[1] Bristol Aerospace Ltd., Winnipeg (Manitoba).
[2] Standard Aero Ltd., Winnipeg (Manitoba).

des moyens mécaniques, mais certains développements récents dans le secteur de l'informatique et des systèmes de vision artificielle permettront la réalisation d'un système de mesure intelligent et peu coûteux, dont l'exactitude de mesure sera de 25 µm sur un objet de 300 mm de diamètre.

Le système projeté est formé d'un sous-système de vision stéréoscopique et d'un sous-système de comparaison des images. L'objet est placé sur une plate-forme spéciale qui porte des points permanents d'étalonnage de la caméra. On peut prendre des images multiples en inclinant la plate-forme, tandis qu'une fonction de zoom automatique peut aussi être implantée pour améliorer l'exactitude des mesures. Le sous-système de comparaison des images compare l'image des pièces à remettre en état aux images standard dans la bibliothèque. La comparaison vise surtout à détecter les éléments endommagés ou manquants; aucune des dimensions critiques n'est mesurée.

Puisque l'exactitude nécessaire se situe tout près des limites actuelles de la vision artificielle, on aura recours à du matériel ultra-moderne, comme les caméras de 1024 pixels × 1024 pixels. Il est essentiel de procéder à l'analyse détaillée de l'exactitude, à la détection des erreurs provenant de toutes les sources possibles et à l'identification des erreurs de modélisation. De plus, on peut au besoin utiliser ou mettre au point des méthodes de mesure pour les mesures sur les bords, avec exactitude de l'ordre du sous-pixel (plus que 0,05 pixel). La mise au point du système d'éclairage et d'éléments stables de fixation de la plate-forme et de la caméra est un autre élément essentiel de nos travaux.

Après avoir évalué avec soin les systèmes de traitement des images et les caméras à semiconducteurs disponibles sur le marché, nous avons choisi la configuration matérielle du système. Un banc optique à l'épreuve des vibrations, des dispositifs de fixation de caméra et quelques lampes ont été installés au laboratoire de l'ICTI. La plate-forme inclinable et les points de contrôle ont été conçus et fabriqués. La méthode de mesure avec exactitude de l'ordre du sous-pixel est en cours de développement.

Un système automatisé de reconstruction des dents

C.J. Wu, H. Liontas, M.K.C. Yeung, P. Chartier, P. Orban, J. Domey, M. Rioux, C. Lavelle,[1] R. Jordan[1]

Les progrès du secteur de la CAO/FAO permettent d'appliquer cette technologie au domaine médical. Par exemple, les avantages du recours à un système de CAO/FAO dans le secteur de la reconstruction dentaire sont si nombreux, qu'on prévoit que cette technologie révolutionnera la dentisterie clinique. Cette question a été traitée dans certains périodiques techniques.

Trois systèmes ont été mentionnés, mais un seul existe en version commerciale : il ne produit que des incrustations (la surface occlusale est produite par le dentiste). L'exactitude de l'incrustation est de l'ordre de 100 µm. Les trois systèmes utilisent un système de mesure spécialement conçu, soit une sonde manuelle soit une caméra stéréoscopique, pour acquérir *in situ* les coordonnées de la dent préparée. En principe, la sonde et la caméra peuvent prendre des mesures 3D avec une exactitude d'au moins 25 µm. Toutefois, les deux méthodes doivent compter avec des problèmes d'ordre pratique, comme les obstacles posés par les gencives, le sang et la salive, ainsi que la difficulté de trouver des points de mesure permettant d'obtenir une exactitude de mesure globale de 25 µm.

Le système projeté, qui fabriquera automatiquement des couronnes et d'autres prothèses dentaires, combine un système de pointe de mesure des distances (acquisition d'images/données), la technique de traitement des images (CAO) et la technologie de fabrication automatisée de la surface artificielle (FAO). L'utilisation d'un système de télémesure laser pour établir le profil de la dent à partir de l'impression dentaire élimine les difficultés liées au système de mesures *in situ*. Les données mesurées, les données du profil extérieur de la dent standard mémorisée dans le fichier des données de conception et les paramètres de conception introduits par l'utilisateur serviront à la production du fichier des données de conception des couronnes. Un trajet-outil pour micro-fraiseuse à commande numérique sera produit à partir du fichier des données de conception approprié.

Pour mettre à l'épreuve les principes de conception, explorer diverses approches de conception et éliminer les problèmes potentiels, nous avons entrepris une étude de faisabilité en collaboration avec l'école de dentisterie de l'Université du Manitoba. Une mâchoire expérimentale faisant environ trois fois les dimensions de la mâchoire standard a été construite et l'impression de la dent préparée a été prise au moyen de la pâte d'impression dentaire (figure 1). On a établi le modèle CAO d'une dent standard et la forme extérieure de la dent a été

[1] Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba).

Figure 1. À gauche : Impression dentaire de la dent préparée. À droite : Dent prête à recevoir une couronne.

Figure 2. Une dent fraisée.

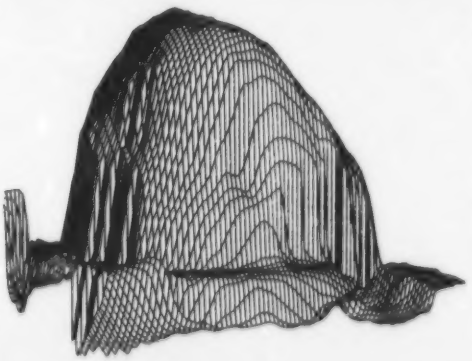


Figure 3. Mesures prises sur la dent préparée, sous forme d'un réseau maillé.

fraisée. La figure 2 montre une dent modèle fraisée typique. L'impression dentaire modèle a été mesurée au moyen d'un système d'analyse laser de laboratoire, dont l'exactitude dépasse 25 µm. La figure 3 montre la représentation 3D maillée de la dent préparée. L'état du rebord et de la surface est clairement visible sur le modèle 3D.

Une étude de faisabilité d'un système automatisé de reconstruction des dents arrière a donné de bons résultats et on a entrepris l'étape finale de fabrication d'une couronne. On a démontré la facilité de fabrication de ce système, qui ne nécessite pas des travaux de développement élaborés. Si on utilise l'impression dentaire plutôt que les mesures *in situ*, il est facile de résoudre le problème de la mesure du profil de la dent préparée. L'exactitude de la couronne artificielle est limitée par la reproductibilité de l'impression faite par le dentiste. Le système de télémesure laser et la micro-fraiseuse comportent tous deux une exactitude supérieure à 25 µm. On croit possible d'obtenir une couronne artificielle avec exactitude de l'ordre de 25 µm aux endroits critiques si on utilise le matériau approprié pour prendre une impression exacte.

Siège orthopédique personnalisé

P. Orban, S.F. El-Hakim

Comme nous le disions dans l'édition précédente du *Bulletin*, 3(3), la société Otto Bock du Canada et l'ICTI collaborent à la conception et l'implantation d'un système informatisé qui faciliterait et accélérerait la conception et la production de moules positifs 3D pour sièges orthopédiques personnalisés, le tout à un coût raisonnable. La compagnie a mis au point un système exclusif de production de coussins

moulants personnalisés pour les clients qui ont des besoins particuliers. Ce système passe par la formation sous vide d'un coussin moulant à partir d'un positif anatomique du client. Le positif est un moulage en plâtre fabriqué manuellement au moyen de sacs de petites billes qu'on cale autour du client en position assise. Le principal obstacle à une plus grande disponibilité de cette méthode, et donc à une plus grande pénétration du système sur le marché, est la méthode actuelle de production du positif anatomique. Le système projeté réduirait considérablement le temps et les efforts nécessaires à la réalisation du moulage.

Au cours de l'année écoulée, on a fait la démonstration du prototype d'un système de numérisation des sacs à billes par vision stéréoscopique, grâce au matériel informatique dont dispose présentement l'ICTI. On conçoit présentement de nouvelles versions peu coûteuses de la configuration du matériel et des dispositifs de fixation des caméras afin d'assurer la viabilité et la facilité de réalisation commerciale du système. Le même système servira aux applications de conception assistée par ordinateur d'articulations entreprises par Otto Bock.

Automatisation des élévateurs à grains

H. Liontas, J.L. Allston

Ce projet conjoint réunissant Digital Equipment Corporation et Pioneer Grain vise à identifier la nouvelle génération de matériel informatique, de logiciels et de méthodologies de communications dont l'industrie céréalière devra disposer pour ses élévateurs à grains éloignés.

L'industrie céréalière étudie le remplacement des systèmes informatisés actuels par une nouvelle génération de matériel. Ce matériel ne ferait pas qu'aider à l'exploitation des élévateurs; il faciliterait aussi la fourniture de services d'informations aux clients. Le nouveau matériel doit pouvoir résister aux conditions environnementales difficiles d'un élévateur. Les nouveaux outils de développement de logiciel et le système d'exploitation doivent non seulement accroître la productivité du programmeur, mais aussi permettre la mise en réseau des ordinateurs et le recours à des bases de données réparties. Au cours des dernières années, les fabricants de systèmes informatiques ont reconnu le potentiel du marché de l'industrie céréalière et se sont efforcés de répondre à ces besoins.

Les études environnementales et de communications sont terminées et les rapports en découlant ont été publiés. Le matériel qui satisfera aux exigences environnementales a été identifié tandis que les outils de développement logiciels et le système d'exploitation et l'équipement de communications ont été identifiés et proposés. Une base de données relationnelle préliminaire a été conçue et implantée dans le cadre de la phase d'évaluation du logiciel. La phase pilote commencera dès que notre partenaire de l'industrie céréalière aura choisi le matériel et le logiciel appropriés.

Système de contrôle continu des émissions acoustiques

K.A. Miskiewicz

Comme nous le décrivions dans le *Bulletin* de l'an dernier, 3(3), l'objectif de ce projet entrepris en collaboration avec Monac Acoustic Monitoring International Inc., est la production de la première version commerciale d'un système de contrôle continu des émissions acoustiques (EA) ayant recours à la méthode brevetée par N. Bassim, vice-président et directeur technique de Monac.

Le prototype de l'unité de surveillance a été mis au point. Des tests de la version bêta ont été réalisés en laboratoire, ainsi qu'à proximité de ponts de chemin de fer, de transformateurs haute tension, de générateurs d'alimentation, etc.; les résultats sont encourageants. On utilisera le prototype comme unité de production de base.

Un programme avec interface utilisateur intelligente a été mis au point pour l'analyse des ensembles de données acquis sur le terrain. La possibilité du recours à un processus d'induction pour la reconnaissance des configurations a fait l'objet d'études détaillées et on a conclu qu'en raison de la complexité de la configuration matérielle et logicielle, il valait mieux pour l'instant ne pas implanter de méthodes de traitement numériques. Le modèle actuel constituera l'unité de production de première génération.

Véhicule à auto-guidage

M.A. Barakat, R. Kjaldgaard[1]

L'objectif global de ce projet, une collaboration avec FMC Canada, est le développement d'un véhicule à auto-guidage (VAG) ne nécessitant pas l'installation de fils-guides dans le plancher pour définir les trajets et limites de déplacement et pour servir de support des communications entre le contrôleur et les véhicules. On pourra ainsi étendre le parc d'utilisateurs potentiels en autorisant les applications où les fils-guides ne sont plus nécessaires. Plusieurs composants du système VAG devront être mis au point

[1] FMC of Canada, Limited, Toronto (Ontario).

avant que le système VAG puisse constituer une option de remplacement viable pour les véhicules télécommandés automatisés (VTA).

La première phase du projet portera sur le développement d'un système de communications sans fils-guides. La nouvelle liaison de communications doit permettre de commander un réseau de véhicules et son environnement de manière à exploiter tout le système comme un réseau intégré. Une étude préliminaire indique qu'une liaison radiofréquence (RF) spéciale est un choix approprié. Les communications radiofréquences ont été utilisées antérieurement dans le cadre d'applications VTA, mais les limites du point de vue du débit de données et de l'intégrité de la liaison interdisaient le développement d'applications complexes. Les progrès dans le secteur du matériel de communications RF et la mise au point de nouvelles techniques, comme l'étalement du spectre, autorisent le recours à cette technique. Les autres phases porteront sur les questions d'auto-guidage.

Cellule centralisée de fabrication automatisée

M.K.C. Yeung

Nous avons décrit dans le dernier numéro du *Bulletin*, 3(3), la mise au point d'une CCFA, une cellule centralisée de commande destinée au matériel compatible avec la commande automatisée, en vue de la gestion de l'ensemble de l'installation de fabrication de l'ICTI. En plus du matériel de commande numérique automatisée (CNA), l'ICTI a récemment acquis un dispositif de stéréo-lithographie (DSL). On étudie l'intégration de ce nouvel équipement à la structure de la CCFA.

Commande numérique intégrée

M.K.C. Yeung

Les recherches sur la commande numérique intégrée (CNI) est un projet en collaboration avec ICAM Technologies Corporation et vise le développement d'un système de CNA rentable du point de vue des coûts. On prévoit qu'il résoudra certains problèmes comme la gestion des fichiers de CN et la centralisation de la CNA, questions soulevées dans le *Bulletin* 3(3).

La première phase du projet comprend l'analyse, la conception et le développement du logiciel de gestion des fichiers, ainsi que le logiciel de communication et de gestion du réseau. On a terminé les travaux d'analyse détaillée et de conception préliminaire.

[1]Wardrop Engineering Inc., Winnipeg (Manitoba).
[2]Système EMSCAN de Northern Telecom.

Tests sans contact pour cartes de circuits imprimés

Z.A. Delecki, M.A. Barakat, J. Soiferman,[1] Y. Yan[1]

Les tests de cartes de circuits imprimés deviennent de plus en plus coûteux et difficiles avec l'accroissement de la complexité des circuits intégrés, de la vitesse des horloges et du recours à la technologie de montage en surface. L'accès aux composants est donc de plus en plus difficile par les méthodes habituelles.

Les tests automatisés classiques des cartes sont réalisés en appliquant des tensions et des signaux à une série de broches et en mesurant les signaux de sortie sur d'autres broches de test. Cette méthode impose des tolérances mécaniques très strictes pour l'implantation de la carte et limite la fréquence de test de la carte (la plupart des systèmes de test sont limités à 100 MHz). Un système de tests sans contact (STSC) utilisant la distribution du champ électromagnétique proche à proximité de la carte est en cours de développement en collaboration avec Wardrop Engineering.

Les progrès récents de la technologie des tests automatisés ont permis de produire un dispositif pour l'évaluation de la performance électromagnétique des cartes de circuits imprimés.[2] Toutefois, à l'heure actuelle ce dispositif donne des renseignements sur le brouillage causé par la carte testée, mais peu de données sur la qualité de la carte. Qui plus est, il est très coûteux et ne convient pas aux tests automatisés sans contact.

La nécessité d'étendre nos connaissances des techniques de détection de la distribution du champ électromagnétique à proximité d'une carte a résulté en la conception par l'ICTI d'un nouveau type de détecteur. Le système de tests est fondé sur la relation entre le courant, la charge et l'intensité du champ magnétique et du champ électrique. On applique à une carte de circuits imprimés fonctionnelle un signal d'entrée spécifique. Des petites antennes planaires servent de détecteurs des champs électrique et magnétique, dont les signaux sont couplés aux sources de la carte. Un certain nombre de détecteurs électromagnétiques ont été développés et leur performance a été évaluée afin de déterminer la plage de fréquences optimale d'un capteur donné. Le facteur le plus important pour l'interprétation des données mesurées par ces détecteurs est l'effet de la proximité, qui produit des relations complexes entre les paramètres de la source et le détecteur.

La figure 4 montre le système matériel. Le logiciel (figure 5) comporte des progiciels pour le traitement en ligne et hors-ligne des données. Le traitement auxiliaire des données est réalisé dans les domaines temps et espace. Toutefois, la recherche porte surtout sur le traitement dans le domaine spectre. L'information recueillie par l'oscilloscope numériseur et le contrôleur du détecteur est prétraitée dans les domaines temps et spectre, une estimation de la valeur du pixel de chaque voie est calculée, puis la signature électromagnétique de la carte testée est convertie en image. Les futurs travaux de recherche porteront sur l'identification d'une défectuosité ou d'une condition hors tolérances par le recours à un système de reconnaissance des défectuosités à base de connaissances.

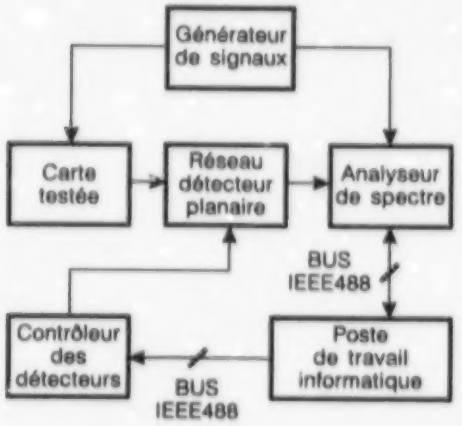


Figure 4. Architecture matérielle du système de tests sans contact.

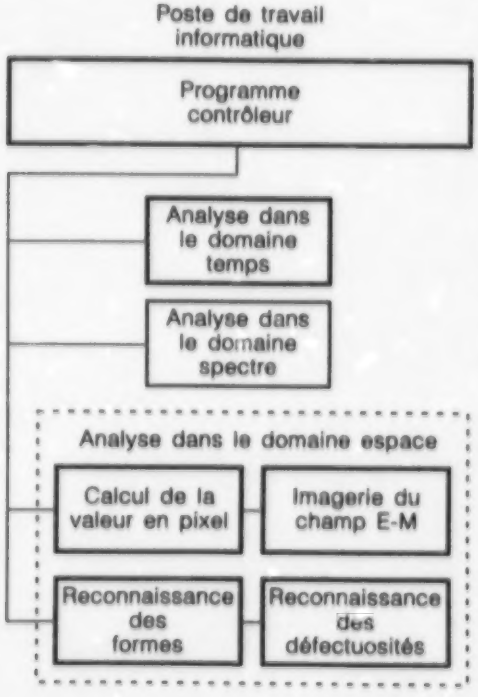


Figure 5. Architecture logicielle du STSC.

Le mise au point d'une technique d'étalonnage pose un autre problème sérieux et difficile. On doit avoir recours à des cartes d'étalonnage spéciales avec défectuosités simulées pour évaluer la performance du réseau détecteur en présence de diverses conditions de défectuosités.

Les principales caractéristiques du système de tests sans contact (STSC) peuvent se résumer ainsi : les tests peuvent être effectués pendant la production de la carte; l'absence de contact physique avec la carte à tester assure l'universalité du système, c'est-à-dire que le même système de tests peut servir à tester n'importe quelle carte sans avoir recours à des accessoires spéciaux; des cartes analogiques et numériques haute fréquence peuvent être testées jusqu'à 1 GHz; le système de tests en cours de développement comporte un système de reconnaissance des défectuosités capable d'analyser les problèmes pendant le test, ce qui réduit considérablement les coûts des tests de cartes de circuits.

Le PARI du CNRC a apporté son soutien financier à ces travaux.

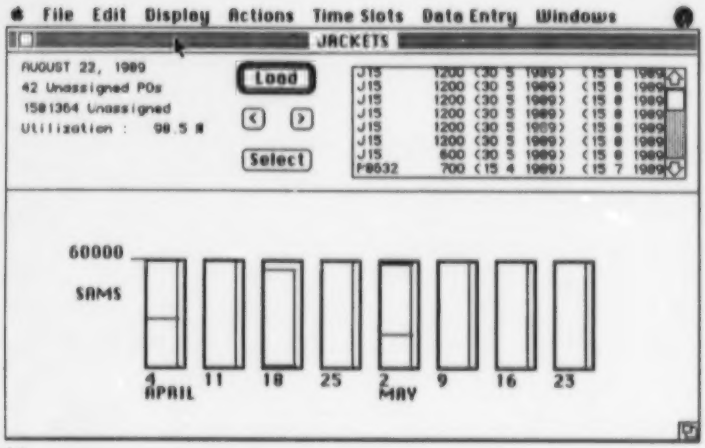
Systèmes experts

Système expert pour la soudure par résistance

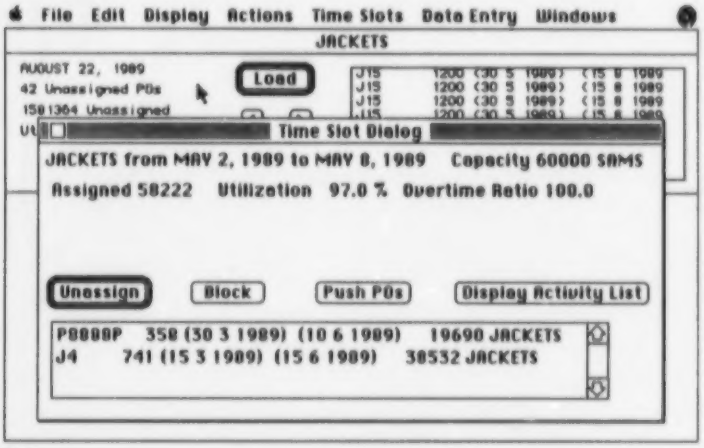
G.D. Sawatzky, R. Jackson, N. Pizzi, J. Davies,[1] K. Johnson[1]

Ce projet vise le développement d'un système expert pour la spécification des paramètres d'opérations de soudure par résistance. Ce système accepte une description des matériaux à souder et des conditions de la soudure, et produit un jeu initial de paramètres de soudage (courant, pression, temps) et une description des électrodes à utiliser. D'après la description résultante du noyau de soudure, il suggère des modifications à apporter aux paramètres de soudure. Les sources des connaissances pour le développement de ce système sont la documentation sur la soudure par résistance de Bristol Aerospace, des entrevues avec le meilleur soudeur par résistance de Bristol et la documentation dont nous disposions.

[1] Bristol Aerospace Limited, Winnipeg (Manitoba).



(a)



(b)

Figure 6. Exemples d'écrans du prototype du système expert de planification.

La première phase du projet consistait à identifier les connaissances nécessaires pour l'établissement d'un jeu de paramètres permettant de souder un matériau typique selon les spécifications établies. Cette phase est terminée et un rapport décrivant nos conclusions a été présenté à Bristol Aerospace.

Système expert de planification pour les fabricants de biens non durables

G.D. Sawatzky

Strategic Innovations Inc., une entreprise de développement de logiciels, travaille avec les fabricants canadiens de biens non durables en vue de la mise au point de la version commerciale d'un système destiné à l'industrie du vêtement. Sa collaboration avec l'ICTI s'est terminée à l'été 1989. Le prototype écrit en Common LISP a été remis à l'entreprise dans le cadre d'un accord de licence prévoyant d'autres travaux de développement étalés sur une période de cinq ans. L'intérêt exprimé par les utilisateurs potentiels a convaincu la compagnie de poursuivre le développement d'une version commerciale du prototype. La compagnie apportera d'autres améliorations au prototype et à la version commerciale du système par suite des commentaires exprimés par les utilisateurs de l'industrie et les entrevues avec les experts en planification. La figure 6 montre des exemples d'écrans produits par le prototype écrit en LISP.

Détection clinique des thromboses veineuses profondes

N. Pizzi, R. Jackson, G. Meszaros,[1] D. Joubert[1]

Comme nous le décrivions dans la dernière édition du *Bulletin*, 3(3), nous collaborons, avec l'Hôpital général de Saint-Boniface, au développement d'un système automatisé de diagnostic des thromboses veineuses profondes (TVP), le phénomène de coagulation du sang dans le coeur et les grands vaisseaux sanguins; ce système permettra au clinicien d'améliorer le taux de détection de cette condition. Le projet comporte les objectifs suivants : incorporer les méthodes statistiques traditionnelles utilisées normalement dans les projets de recherche clinique pour la détection des TVP; introduire des données qualitatives dans le système, par exemple les dossiers d'activité des patients et les dossiers des observations du personnel infirmier; et étudier la faisabilité de généraliser ce système de manière à produire un outil de diagnostic utilisable dans tout projet de recherche médicale en épidémiologie clinique.

Le système sera développé en parallèle avec la méthode traditionnelle d'extraction des données et d'analyse statistique par les chercheurs cliniciens. Le premier prototype de l'utilitaire de cueillette automatisée des données est terminé et est présentement utilisé par l'équipe de chercheurs pour construire la base de données de la population de patients.

Système conseiller en chimiothérapie

R. Jackson, G.D. Sawatzky, N. Pizzi, D. Pascoe,[2] D. Scuse,[3] G. Hogue[4]

Le système conseiller en chimiothérapie (SCC) est un système expert qui aidera les

[1] Hôpital général de Saint-Boniface, Winnipeg (Manitoba).
[2] Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation, Winnipeg (Manitoba).
[3] Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba).
[4] Price Waterhouse, Winnipeg (Manitoba).

oncologistes à préparer des protocoles/plans de traitement complets en chimiothérapie qui seront utilisés plus tard par les professionnels en chimiothérapie sur les lieux du traitement. Le SCC permettra d'introduire et de conserver sur place des données spécifiques au patient et liées au traitement, comme les résultas des tests cliniques, les observations physiques, les rapports d'avancement du traitement, et les traitements administrés. À partir de ces renseignements, le SCC appliquera l'expertise d'oncologiste incluse dans le plan de traitement et produira des conseils sur la modification du plan de traitement destinés au personnel chargé d'administrer la chimiothérapie. Les conseils seront spécifiques au patient et seront fondées sur la toxicité du traitement et sur la modification de la dose du médicament et de l'horaire du traitement. Le SCC pourra aussi trier et produire tous les renseignements nécessaires aux recherches ou aux essais cliniques.

La Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation (MCTRF) s'est associée à Price Waterhouse pour le développement du SCC, en collaboration avec l'Université du Manitoba et le CNRC. Le projet a été financé par les ministères des Communications du Canada et du Manitoba. Une partie du financement du projet découle d'une entente auxiliaire sur les entreprises culturelles, un programme géré par Communications Canada.

Pendant la phase de développement, on utilisera microExplorers pour réaliser un constructeur de plans de traitement en chimiothérapie; des PC à processeur 386 serviront au développement du conseiller en plans de traitement. Le constructeur de plans de traitement permettra à des professionnels qualifiés en soins de santé de transférer à une base de données les connaissances contenues dans un document sur le plan de traitement. Le moteur d'inférence du constructeur de plans de traitement et la base de données seront implantés en Common LISP et en Flavors. La sortie du constructeur prendra la forme de paquets de connaissances de protocoles (PCP), chaque paquet contenant un plan de traitement totalement vérifié et validé. La MCTRF réalisera les tests alpha et bêta du constructeur. La Section de robotique et automatisation est responsable de la conception et du développement du constructeur de plans de traitement, y compris le testeur à régressions le générateur automatique de cas types et le translateur de connaissances de protocoles.

Dans l'implantation autonome initiale, le conseiller en plans de traitement aidera les professionnels des services de santé non spécialistes du Centre de soins en milieu pour l'administration des plans de traitement en chimiothérapie. Le conseiller en plans de traitement sera implanté en C et en CLIPS, et sera relié aux PCP et aux données de diagnostics médicaux mémorisées dans une base de données tournant sous DOS sur des PC à processeur 386. La MCTRF réalisera les tests alpha du conseiller, tandis que les tests bêta seront réalisés dans deux cliniques de soins en milieu.

Mémoires récents

Publiés

Delecki, Z.A. A representation of the boundary condition for the macroscopic magnetic field intensity. Can. J. Phys. 67(10): 939–945; 1989. CNRC 30899.

Delecki, Z.A. A generalization of the representation theorem for the vector wave equation. Proceedings of the 1989 URSI International Symposium of Electromagnetic Wave Theory, Stockholm, Suède. 13–17 août 1989. 2 pages. CNRC 31314.

Delecki, Z.A., et Stuchly, S.S. Analysis of the open-ended coaxial dielectric sensors. J. Electromag. Waves and Applic. 4(2): 169–183; 1990. CNRC 30981.

Delecki, Z.A., Barakat, M., Kroker, H., Shafai, L., Pawlak, M., et Solferman, L. Near field receiving properties of printed loop antennas. Compte rendu du Congrès canadien en génie électrique et informatique, Montréal (Qué.). 17–20 septembre 1989. Vol. II, pp. 1106–1108. CNRC 30904.

El-Hakim, S.F. Development of stereo vision for industrial inspection. Proceedings of Instrument Society of America (ISA) Symposium, Calgary (Alb.). 3–5 avril 1989. pp. 163–178. CNRC 30106.

El-Hakim, S.F., et Barakat, M.A. A vision-based coordinate measuring machine (VCMM). Proceedings of the Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Vienne, Autriche. 18–20 septembre 1989. pp. 216–228. CNRC 30680.

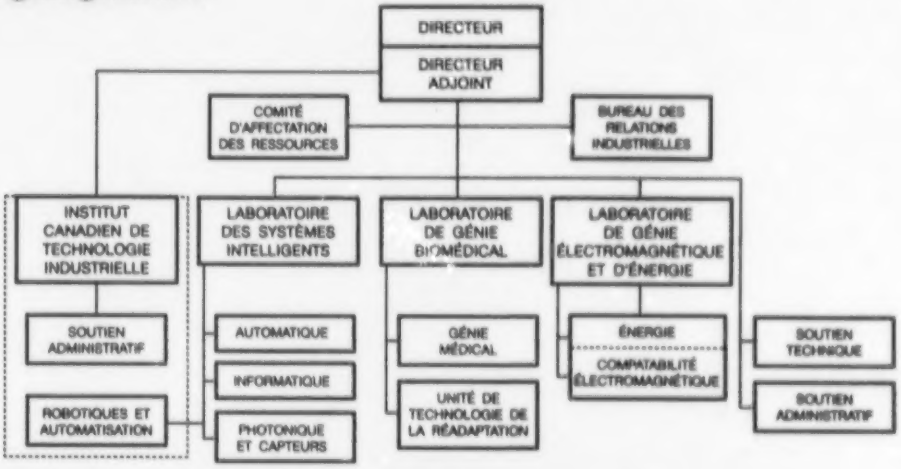
Présentés

Barakat, M. Collaborative research at the Robotics and Automation Section. CNRC/DGE Association de la Science, Ottawa (Ont.). 6 février 1990.

Wu, C.J., and Liontas, H. A scheduling program for steel minimills. Reynolds Aluminium Company of Canada, Cap-de-la-Madeleine (Qué.). Février 1989.

Annexe

Organigramme



Personnel, 1er avril 1990 au 31 mars 1990

Directeur général — S.A. Mayman

Directeur adjoint — M.M.C. Collins

Secrétaire du directeur général — A.C. Dunn

Ingénieur de recherches principal — J.Y. Wong

Bureau des relations industrielles — A.M. Hlady

Arnold, J.G.
Chartrand-Mulvey, L.
Neal, G.
O'Hara, D.H.
Scrimgeour, J.H.C.

Travailleurs invités

Papple, W.R.[1]
Watkin, J.[2]

Administration et gestion de matériel — M.M. Fox

Services administratifs

Crupi, F.
Houle, C.
Kenny, S.
Lambert, C.
Manson, M.

Approvisionnements et magasins — G.H. Weston

Bedard, M.
Lamont, J.D.
Lawson, K.[3]
Osborn, L.
Wilson, D.G.D.
Woods, J.[4]

Adjoints temporaires

Branchaud, R.M.
Zumbach, W.

---

[1] Gendarmerie royale du Canada, Ottawa (Ontario).
[2] Centre canadien de recherches policières, Ottawa (Ontario).
[3] Détaché de la Direction du personnel.
[4] Détaché de la Direction des services administratifs et gestion de l'immobilier.

Services de soutien technique — C.C. Eamer

Atelier de développement

Bouchard, S.
Bramall, B.K.
Curry, D.
Dunlop, D.A.
Farr, B.C.
Hendley, J.G.
L'Abbé, P.C.
Lajeunesse, M.
Legere, J.
Marchington, D.C.[1]
Player, M.J.
Pollex, G.P.[2]
Poulin, D.A.W.
Preece, N.[3]
Taylor, A.R.
Tierney, K.G.

Travailleurs invités

Rocheleau, K.[4]
Stimson, S.[5]
White, G.[6]

Dessin et photographie

Ablack, V.G.
Amirault, P.C.
Cameron, L.A.
Gamache, D.
Schoenherr, K.
Vallières, R.A.
Walker, G.D.

Bureau des publications — E.M. Kidd

Tierney, T.A.

Laboratoire de génie biomédical — O.Z. Roy

Génie médical — O.Z. Roy

Personnel scientifique

Black, R.C.
Crabtree, D.
Durie, N.D.
Forester, G.V.
Korba, L.W.
Lang, S.
Mortimer, A.J.
Nedelec, J.-F.
Nelson, P.J.
North, G.M.

Personnel technique

Chagnon, J.
Farley, R.[3]
LaFleur, C.
McSheffrey, L.
Park, G.C.
Saver, W.
Scott, J.
Skrypnyk, R.[7]
Statham, A.[7]
Trollope, B.J.
Villeneuve, E.J.

Travailleurs invités

Akyurekli, D.[8]
Armstrong, G.W.D.[9]
Choo, C.[8]
Chow, D.[9]
Didenko, Y.[10]
Dolan, C.[4]
Etzion, G.[11]
Gerig, L.[9]
Gilbert, S.[9]
Harrison, S.[4]
Hosseinzadeh, K.[9]
Johnson, K.[8]
Maule, A.[12]
Peterson, E.[9]
Rasmusen, K.[4]
Runolfson, R.[8]
Saik, E.[8]
Weber, A.[8]
Wilson, J.[4]
Yeadon, A.[9]

Étudiants

Danelice, M.
de Souza, P.
Ferguson, D.
St. Amand, M.

Technologie de la réadaptation — J. Batelaan

Personnel scientifique

Bennett, W.G.
Clark, I.P.
Liu, A.J.W.

Personnel technique

Ayvazyan, H.
Kennedy, L.L.
Tam, M.
Tremblay, R.

Étudiant

Wong, L.

---

[1]Deplacé à la Division de physique en novembre 1989.
[2]Retraité en janvier 1990.
[3]Retraité en mars 1990.
[4]Terray Corporation, Arnprior (Ontario).
[5]École secondaire Sir Wilfred Laurier, Ottawa (Ontario.)
[6]Sault Ste. Marie College of Applied Arts and Technology, Sault Ste. Marie (Ontario).
[7]Retraité en juin 1989.
[8]Université Carleton, Ottawa (Ontario).
[9]Hôpital Civic d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[10]Institut d'océanologie du pacifique, Académie des sciences d'URSS, Vladivostok, URSS.
[11]Etzion Engineering, Haifa, Israël.
[12]Ottawa Mobility Manufacturing, Nepean (Ontario).

Laboratoire de génie électromagnétique et d'énergie — M.M.C. Collins

Énergie — W.J.M. Moore

Personnel scientifique

Arseneau, R.J.
Bamji, S.S.
Bulinski, A.T.
Densley, R.J.
Filipski, P.S.
Kashyap, S.
Kekez, M.M.
LoVetri, J.
McComb, T.R.
Podgorski, A.S.
Seregelyi, J.
So, E.

Personnel technique

Angelo, D.J.
Bennett, D.
Cassidy, B.R.
Cook, P.R.
Cossette, L.[1]
Dagg, G.B.
Dunn, J.G.
Gibson, G.
Grünwald, A.
Hoffman, D.R.
Rail, J.
Robert, J.E.P.
Rocheleau, D.O.
Sabourin, L.[2]
Williscroft, G.
Zelle, J.J.

Agent de recherche visiteur

Miljanic, P.[3]

Chercheur invité

Das-Gupta, D.K.[4]

Travailleurs invités

Antar, Y.M.M.[5]
Gauthier, R.[6]
Gravelle, L.[7]
Hendry, A.[8]
He-Sheng, T.[9]
Hurd, R.A.[8]
Kovacevic, D.[10]
Matsuki, M.[11]
Muto, H.[11]
Sakumoto, Y.[12]
Tong-Chun, Z.[9]
Wartak, M.S.

Adjoints temporaires

Fashandi, R.
Graham, D.P.W

Étudiants

Knobel, R.
Ledig, B.
Meginbir, D.
Sychaleun, S.

Laboratoire des systèmes intelligents — M.M.C. Collins

Automatique — N. Burtnyk

Personnel scientifique

Archibald, C.
Bechthold, G.H.
Elgazzar, S.
Evans, K.B.
Gentleman, W.M.
Green, D.A.
Hung, S.H.Y.
Kelley, J.V.
Liscano, R.
MacKay, S.A.
Merritt, C.
Roth, G.
Shepertycki, T.H.[13]
Stewart, D.A.
Wein, M.

Personnel technique

Binch, A.
Colwell, M.
Duggan, M.D.
Taylor, D.G.

Travailleurs invités

Basran, J.S.[14]
Gauthier, C.[14]
Huang, Y.[15]
Kasvand, T.[16]
Normand, L.-P.[17]
Song, G.[18]
Venkatesan, S.[16]

Adjointe temporaire

Fuller, M.

Étudiants

Castonguay, A.
Krantz, M.
Wood, K.

---

[1]Donnée sa démission en april 1989.
[2]Retraité en mars 1990.
[3]Université de Belgrade, Belgrade, Yougoslavie.
[4]University College of North Wales, Bangor, Wales.
[5]College royal militaire, Kingston (Ontario).
[6]R&D Optics, Ottawa (Ontario).
[7]Université d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[8]Anciennement avec la DGE, maintenant à la retraite.
[9]Institut de recherches des hautes tensions de Wuhan, Wuhan, République populaire de Chine.
[10]Institut "Nikola Tesla," Belgrade, Yougoslavie.
[11]The Furukawa Electric Co., Ltd., Tokyo, Japon.
[12]Japan Electrical Meters Inspection Corporation, Kamagaya, Chiba, Japon.
[13]Retraité en février 1990.
[14]Université d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[15]Institut de technologie de l'informatique de Beijing, Beijing, République populaire de Chine.
[16]Université Concordia, Montréal, Québec.
[17]Ministère de la Défense nationale, Ottawa (Ontario).
[18]Institut de l'automatique de Shenyang, République populaire de Chine.

Informatique — J.W. Brahan

Personnel scientifique

Abu-Hakima, S.
Buck, L.J.
Craddock, A.J.[1]
Davidson, P.L.
Diaz, A.C.
El-Zorkany, H.I.
Famili, A.
Farley, B.
Halasz, M.S.
Henneker, W.H.
Orchard, R.A.
Parent, A.
Phan, C.S.
Wylie, R.H.

Personnel technique

Booth, T.A.
Born, R.V.

Bourses post-doctorals

Turney, P.D.
Sosnowski, Z.A.

Travailleur invité

Boulet, M.M.[3]

Étudiants

Forest, M.
Kornelsen, K.
Sun, T.

Photonique et capteurs — J. Domey

Personnel scientifique

Abdelmalek, N.N.
Bernard, J.E.
Blais, F.
Boulanger, P.B.
Chrostowski, J.
Godin, G.
O'Sullivan, M.S.
Rioux, M.

Personnel technique

Cournoyer, L.
Damphousse, M.
Dufour, A.G.
Fournier, T.[4]
Gariépy, P.
Misner, R.

Attachés de recherches

Beraldin, J.-A.
Maigné, P.P.

Chercheur invité

Yamamoto, M.[5]

Travailleurs invités

Baribeau, R.[6]
Barnard, C.W.[7]
Bélanger, J.[3]
Bing, C.[7]
Bock, W.J.[8]
Boothroyd, S.A.[7]
Chan, L.Y.C.[9]
Fontaine, M.[8]
Jiang, W.[7]
Kopola, H.[7]
Muminovic, D.[7]
Myslinski, P.[9]
Osterfeld, M.[10]
Peereboom, N.[11]
Porada, E.
Rawicz, A.[12]
Robert, J.[13]
Wartak, M.S.
Yuen, S.[9]

Étudiants

Cormier, J.-P.
Lazda, A.
Rousseau, D.

Robotique et automatisation — M.A. Barakat

Personnel scientifique

Allston, J.
Chartier, P.
El-Hakim, S.
Jackson, R.
Liontas, H.
Miskiewicz, K.A.
Orban, P.
Pizzi, N.
Sawatzky, G.D.
The, H.G.
Wilk, S.F.
Wu, C.J.
Yeung, M.K.C.

Personnel technique

Gretschmann, W.E.
Kroker, H.A.[14]

Attaché de recherches

Delecki, A.

Travailleurs invités

Chung, T.[15]
Feilu, L.[16]
Liao, X.[15]
MacKay, D.[15]
Tong, D.[16]

Étudiants

Silva, J.
Smith, D.
Wagner, R.

---

[1]Donnée sa démission en août 1989.
[2]Retraité en février 1990.
[3]Université Laval, Québec (Québec).
[4]Retraitée en avril 1989.
[5]Laboratoire électrotechnique, Tsukuba, Japon.
[6]Servo-Robot Inc., Boucherville (Québec) et Institut canadien de conservation, Ottawa (Ontario).
[7]Université d'Ottawa, Ottawa (Ontario).
[8]Université du Quebec à Hull, Hull (Québec).
[9]Université Carleton, Ottawa (Ontario).
[10]Universität Osnabrück, Osnabrück, Allemagne de l'Ouest.
[11]Canadian Astronautics Limited, Ottawa (Ontario).
[12]Andrew Engineering Ltd., Burnaby (Colombie-Britannique).
[13]Implant Dentaire Québec Inc., Ste-Agathe (Quebec).
[14]Donné sa démission en septembre 1989.
[15]Université du Manitoba, Winnipeg (Manitoba).
[16]Institut de technologie de Changsha, Changsha, République populaire de Chine.

Institut canadien de technologie industrielle

Directeur — S.A. Mayman

Directeur exécutif — W.C. McGregor

Chef des opérations — J.P. Riese

Assistant administrative — C. Clague

Agent de marketing et de promotion — P.F. Kent

Sous-chef des opérations — K. Rawes

Secrétaire — D. Garesu

Commis de soutien administratif — A. Bolly,[1] E. Jacques[2]

Partenaires d'ICTI

Bristol Aerospace Limited
Canadian Healthcare Telematics Inc.
Cryodynamics Manitoba Inc.
Digital Equipment of Canada Ltd.
Electronics Industry Association of Manitoba
FMC of Canada Limited
Gene Barbee & Associates Ltd.
ICAM Technologies Corporation
Indent Technologies Corporation
Integrated Engineering Software Inc.
IRIS Systems Inc.
Linnet Graphics International
Manitoba Fashion Institute
Manitoba Research Council
Manufacturing Visits Program
Monac Acoustic Monitoring International Inc.
Online Business Systems Inc.
Otto Bock Orthopedic Industry of Canada Ltd.
Programme d'aide à la recherche industrielle du CNRC
Red River Community College
Robthor Steel Corporation
Siagerman Engineering Ltd.
Standard Aero Limited
Ubitrex Corporation
Universal Robotics Corporation
Université de Winnipeg
Université du Manitoba
Wardrop Engineering Inc.

Annex de la DQE, ICIST — J. Dyment,[3] D.R. Clark

Day, M.

Infirmerie

Lorraine, L.

[1] Nomination à terme terminée en septembre 1989.
[2] Adjointe temporaire.
[3] Congé pour les soins d'enfants, octobre 1989.

Répertoire des authors

Abdelmalek, N.N. 60
Abu-Hakima, S. 43, 46, 48
Allston, J.L. 71
Archibald, C. 35–36
Armstrong, G.W.D. 11
Arnold, J.G. 5
Arseneau, R. 21
Bamji, S.S. 22
Barakat, M.A. 68, 71–72
Baribeau, R. 55
Barnard, C.W. 65
Basran, J.S. 35
Batelaan, J. 16
Bechthold, G.H. 35
Bennett, W.G. 16
Béraldin, J.-A. 55
Bernard, J.E. 62, 64
Black, R.C. 11
Blais, F. 55, 58, 60
Bock, W.J. 64
Boothroyd, S.A. 63, 65
Boulanger, P.B. 60
Boulet, M.-M. 46
Brahan, J.W. 43, 46, 51
Buck, L.J. 43, 45, 51
Bulinski, A.T. 22
Burtnyk, N. 32, 35
Chan, L. 63, 65
Chartier, P. 69
Chow, D. 11
Chrostowski, J. 62–65
Clark, I.P. 16
Cole, A. 46
Collins, M.M.C. 19, 29
Craddock, A.J. 46
Davidson, P.L. 48
Davies, J. 73
de Souza, P. 11
Delecki, Z.A. 72
Densley, R.J. 22
Diaz, A.C. 51
Dolan, C. 11
Domey, J. 55, 69
Durie, N.D. 10
Elgazzar, S. 34, 37
El-Hakim, S.F. 68, 70
El-Zorkany, H.I. 43
Famili, A. 43
Farley, B. 43–44, 46
Filipski, P.S. 21
Forester, G.V. 14
Foux, A. 11
Gauthier, C. 32
Gentleman, W.M. 32
Gilbert, S. 11
Godin, G. 58, 60
Green, D.A. 38–39
Halasz, M.S. 48
Hartley, R. 46
Hasson, Q. 46
Henneker, W.H. 43, 46
Hlady, A.M. 3
Hogue, G. 74
Hosseinzadeh, K. 11
Hung, S.H.Y. 40
Jackson, R. 73–74
Johnson, K. 73
Jordan, R. 69
Joubert, D. 74
Kashyap, S.C. 25
Kekez, M.M. 25
Kelley, J.V. 32
Kjaldgaard, R. 71
Kopola, H. 64
Korba, L.W. 10
Kovacevic, D. 21
Lang, S. 10
Lavelle, C. 69
Liontas, H. 69, 71
Liscano, R. 38–39
Liu, A.J.W. 16
LoVetri, J. 25
MacKay, S.A. 32
Maigné, P.P. 62
McComb, T.R. 21
Merritt, C. 36–37
Meszaros, G. 74
Miljanic, P. 21
Miskiewicz, K.A. 68, 71
Moore, W.J.M. 21
Mortimer, A.J. 13
Muto, H. 22
Neal, G. 3
Nelson, P.J. 10
North, G.M. 13
O'Hara, D.H. 3
Orban, P. 68–70
Orchard, R.A. 43, 46, 51
Osterfeld, M. 64
O'Sullivan, M.S. 55, 62–63, 65
Parent, A.T. 46
Pascoe, D. 74
Pascot, D. 46
Peereboom, N. 63
Phan, C.S. 46, 48
Pilkington, R. 46
Pizzi, N. 73–74
Podgorski, A.S. 25
Rai, R. 68
Rauenne, M.D. 11
Rasmuzen, K. 11
Rioux, M. 55, 58, 60, 69
Roth, G. 37
Roy, O.Z. 7, 10
Sakumoto, Y. 21
Sawatzky, G.D. 68, 73–74
Scrimgeour, J. 4
Scuse, D. 74
Seregelyi, J. 25
So, E. 21
Soiferman, J. 72
Sosnowski, Z. 51
Stewart, D.A. 32
Swinkels, G.M. 51
Taylor, G. 68
Turney, P.D. 43
Uhthoff, H.K. 11
Venkatesan, S. 36
Wartak, M.S. 25, 65
Wein, M. 32
Wilson, J. 11
Wu, C.J. 69
Wylie, R.H. 51
Yamamoto, M. 60
Yan, Y. 72
Yeadon, A. 11
Yeung, M.K.C. 69, 72
Yuen, S. 65